

Aus dem Deutschen Schulterzentrum in der ATOS Klinik München

Prof. Dr. med. habil. Peter Habermeyer

**MRT-Morphologie des M. latissimus dorsi und M. teres minor nach  
Latissimus dorsi Transfer in "single-incision-technique"**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Bastian Scheiderer

aus

Stuttgart

2019

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. habil. Peter Habermeyer

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Jens Waschke

Prof. Dr. med. Riccardo Giunta

Mitbetreuung durch die promovierte Mitarbeiterin: Dr. med. Petra Magosch

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 11.04.2019

## **INHALTSVERZEICHNIS**

- 1.0 Einleitung
- 2.0 Allgemeiner Teil
  - 2.1 Anatomie des Schultergelenkes
    - 2.1.1 Knöcherne Anatomie
    - 2.1.2 Kapsel und Bänder
    - 2.1.3 Muskeln der Rotatorenmanschette
  - 2.2 Muskuläre Veränderungen bei Defekten der Rotatorenmanschette
- 3.0 Spezieller Teil – Latissimus dorsi Transfer
  - 3.1 Indikationen und prädiktive Faktoren
  - 3.2 Chirurgische Anatomie
  - 3.3 Biomechanische Grundlagen des Latissimus dorsi Transfer
  - 3.4 Operationsmethoden und Ergebnisse
- 4.0 Material und Methode
  - 4.1 Patientenkollektiv
  - 4.2 Operative Technik
  - 4.3 Nachbehandlung
  - 4.4 Klinische Untersuchung
  - 4.5 Constant-Murley Score
  - 4.6 Radiologische Untersuchung
  - 4.7 Gruppierung
  - 4.8 Statistische Methoden

- 5.0 Ergebnisse
  - 5.1 Patientenkollektiv gesamt
    - Funktionelle Ergebnisse und Constant-Murley Score
  - 5.2 Patientenkollektiv gesamt
    - Radiologische Ergebnisse
  - 5.3 Gruppe A<sub>LD</sub> und Gruppe B<sub>LD</sub>
  - 5.4 Gruppe A<sub>TM</sub> und Gruppe B<sub>TM</sub>
- 6.0 Diskussion
- 7.0 Schlussfolgerung
- 8.0 Zusammenfassung
- 9.0 Literatur

## **ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

**Abb. 1** Anatomie der Rotatorenmanschette. Ansicht von lateral.<sup>1</sup>

**Abb. 2** Anatomie der Rotatorenmanschette. Ansicht von dorsal.<sup>1</sup>

**Abb. 3** Kadaver Dissektion einer rechten Schulter. Ansicht von ventral.<sup>2</sup>

a) Der N. radialis liegt 1,5 – 2,6 cm medial der Insertion der Latissimus dorsi Sehne. b) Der N. axillaris (Tasthaken) verläuft nach seinem Austritt aus dem Fasciculus posterior oberhalb der Sehne des Latissimus dorsi (LDT).

**Abb. 4** Seitenlagerung, posteriorer Zugang, „single-incision-technique“.<sup>3</sup>

**Abb. 5** Mobilisation der abgelösten Latissimus dorsi Sehne.<sup>3</sup>

**Abb. 6** Fixation der Latissimus dorsi Sehne am posterosuperioren Tuberculum majus.<sup>3</sup>

**Abb. 7** Drop-Arm-Zeichen.<sup>4</sup>

**Abb. 8** ARO-Lag-Zeichen.<sup>4</sup>

**Abb. 9** Hornblower-Zeichen.<sup>4</sup>

**Abb. 10** Punkteverteilung des Constant-Murley Score bezogen auf die 4 Untergruppen.<sup>5</sup>

**Abb. 11** Punkteverteilung „Schmerz“.<sup>5</sup>

**Abb. 12** Punkteverteilung „Alltagsaktivitäten“.<sup>5</sup>

**Abb. 13** Punkteverteilung Abduktion und Flexion.<sup>5</sup>

**Abb. 14** Punkteverteilung Außenrotation.<sup>5</sup>

**Abb. 15** Punkteverteilung Innenrotation.<sup>5</sup>

**Abb. 16** Parasagittale Ebene, „Y-Schnittposition“: 3 Regions of Interest (16mm<sup>2</sup>) im kranialen, mittleren und kaudalen M. latissimus dorsi (gestrichelte Linie). SSP; M. Supraspinatus, SSC; M. Subscapularis, ISP; M. infraspinatus, TM; M. teres minor.

**Abb. 17** Klassifikation der fettigen Muskeldegeneration n. Goutallier.<sup>5</sup>

**Abb. 18** Constant-Murley Score - gesamtes Patientenkollektiv (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; \* =  $p < 0.001$ ).

**Abb. 19** Prozentuale Verteilung der Stadien (0 – 4) der Klassifikation n. Goutallier für den M. latissimus dorsi.

**Abb. 20** Prozentuale Verteilung der Stadien (0 – 4) der Klassifikation n. Goutallier für den M. teres minor.

## **TABELLENVERZEICHNIS**

**Tab. 1** Signalintensität (SI) und Signal-to-Noise Ratio (SNR) des M. latissimus dorsi (LD).

**Tab. 2** Signalintensität (SI) und Signal-to-Noise Ratio (SNR) des M. teres minor (TM).

**Tab. 3** Signalintensität (SI) und Signal-to-Noise Ratio (SNR) des M. subscapularis (SSC).

**Tab. 4** Signal-to-Signal Ratio (SSR) des M. latissimus dorsi (LD), M. teres minor (TM) und M. subscapularis (SSC).

**Tab. 5** Patientenkollektiv bei isolierter Betrachtung des M. latissimus dorsi (LD).

**Tab. 6** Signal-to-Noise Ratio (SNR) und fettige Degeneration in Gruppe A<sub>LD</sub>.

**Tab. 7** Signal-to-Noise Ratio (SNR) und fettige Degeneration in Gruppe B<sub>LD</sub>.

**Tab. 8** Patientenkollektiv bei isolierter Betrachtung des M. teres minor (TM).

**Tab. 9** Signal-to-Noise Ratio (SNR) und fettige Degeneration in Gruppe A<sub>TM</sub>.

**Tab. 10** Signal-to-Noise Ratio (SNR) und fettige Degeneration in Gruppe B<sub>TM</sub>.

## 1.0 Einleitung

1934 führte L'Episcopo erstmals den kombinierten Transfer des M. latissimus dorsi und M. teres major auf den lateralen Humerus zur Verbesserung der Außenrotation bei Kindern mit Erb'scher Parese durch.<sup>6</sup> Gerber et al. beschrieben 1988 den isolierten Transfer des M. latissimus dorsi bei Patienten mit irreparablen posterosuperioren Rotatorenmanschettenrupturen.<sup>7</sup> Diese Technik erfordert zwei Inzisionen, einen Säbelhiebschnitt über dem lateralen Akromion sowie einen Zugang über dem ventralen Rand des M. latissimus dorsi. Die Refixation der transferierten Sehne erfolgt hierbei am Tuberculum majus. Zahlreiche Studien zu dieser Operationstechnik belegen eine Verbesserung der Schulterfunktion und Schmerzreduktion.<sup>8-11</sup>

Der biomechanische Grundgedanke ist die Rekonstruktion des von Burkhart et. al. beschriebenen „Force couple“, also der Wiederherstellung eines Kräftegleichgewichtes zwischen dem M. Subscapularis und dem M. infraspinatus bzw. M. teres minor.<sup>12</sup>

2001 zeigten Herzberg et. al., dass der M. latissimus dorsi das höchste Drehmoment bei Transfer auf den Insertionsbereich der Infraspinatussehne entwickelt, verglichen mit dem Transfer auf den Ansatz der Supraspinatus- und Teres minor Sehne.<sup>13</sup> Dem folgte eine weitere Modifikation der L'Episcopo Technik zugunsten des isolierten Latissimus dorsi Transfers in „single-incision-technique“ mit Transfer auf den Insertionsbereich des M. infraspinatus.<sup>14</sup> Durch den isolierten dorsalen Zugang ist das Ablösen des M. deltoideus nicht erforderlich. Der Vorteil liegt darin, eine Insuffizienz des M. Deltoideus zu vermeiden, welche schlechtere funktionelle Ergebnisse nach Latissimus dorsi Transfer zur Folge hat.<sup>15</sup>

Das biomechanische Argument für den isolierten M. Latissimus dorsi Transfer lieferte eine Kadaverstudie.<sup>16</sup> Diese zeigte bei Transposition des M. Latissimus dorsi auf das Tuberculum majus eine Elongation um 33 %, verglichen hierzu war für den M. teres major eine Verlängerung von 47 % nachweisbar. Des Weiteren wurde die Refixation der Sehne des M.



latissimus dorsi aufgrund ihrer Länge (5,2 cm) als weniger kritisch angesehen als die des M. teres minor (1,5 cm).

Habermeyer et al. zeigten in einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 32 Monaten unter Einschluss von 14 Patienten, welche in „single-incision-technique“ versorgt wurden, eine signifikante Verbesserung der Schulterfunktion mit Steigerung des Constant-Murley Score von 47 Punkten präoperativ auf 76 Punkte postoperativ.<sup>14</sup> Die aktive Außenrotation verbesserte sich von präoperativ 19° auf 33° postoperativ, die Flexion von 119° auf 170° sowie die Abduktion von 118° auf 169°. In einer matched-pair Analyse wurden die Ergebnisse des Latissimus dorsi Transfers in der Technik nach Habermeyer/Herzberg mit dem kombinierten Latissimus dorsi/Teres major Transfer verglichen.<sup>17</sup> Beide Verfahren erzielten gute funktionelle Ergebnisse, wobei für den isolierte Latissimus dorsi Transfer eine bessere aktive Flexion und Abduktion nachgewiesen werden konnte, auch zeigte sich in dieser Gruppe kein Progress der Defektarthropathie.

Als negative prädiktive Faktoren für das funktionelle Ergebnis nach Latissimus dorsi Transfer in der Technik nach Gerber sind die Insuffizienz des M. subscapularis, die Ablösung des M. deltoideus sowie die fettige Degeneration des M. teres minor identifiziert worden.<sup>9, 15, 18, 19</sup>

Ob die Verbesserung der funktionellen Parameter nach Latissimus dorsi Transfer Folge einer aktiven Muskelfunktion oder eines Tenodese-Effektes ist, wird kontrovers diskutiert. Aktuellere Studien weisen jedoch darauf hin, dass neben dem Tenodese-Effekt die Muskelaktivität des M. Latissimus relevant für die Verbesserung des klinischen Ergebnisses und der Schmerzreduktion ist.<sup>20-22</sup>

Ziel dieser Untersuchung war die Beurteilung und Quantifizierung der fettigen Degeneration des M. latissimus dorsi und M. teres minor nach Latissimus dorsi Transfer in „single-incision-technique“ n. Habermeyer/Herzberg anhand der Signal-to-Noise Ratio sowie deren Korrelation mit den funktionellen Parametern.

Die Hypothese war, dass eine höhergradige Degeneration des M. latissimus dorsi nach Transfer mit einem schlechteren klinischen Outcome einhergeht.

## **2.0 Allgemeiner Teil**

### **2.1 Anatomie des Schultergelenkes**

Das Schultergelenk erlaubt den umfassendsten Bewegungsumfang aller Gelenke des menschlichen Körpers.

Die große Bewegungsamplitude wird ermöglicht durch das Zusammenspiel von 5 Gelenken: Glenohumeralgelenk, Akromioklavikulargelenk, Sternoklavikulargelenk, Skapulothorakalgelenk und subacromiales Nebengelenk. Etwa 1/3 der Elevationsbewegung erfolgt skapulothorakal, 2/3 im Glenohumeralgelenk.<sup>23</sup>

#### **2.1.1 Glenohumeralgelenk - Knöcherne Anatomie**

Das Glenohumeralgelenk stellt die bedeutendste funktionelle Einheit des Schultergürtels dar. Es wird gebildet aus Humeruskopf und Glenoid. Der ellipsoide Gelenkanteil des Humeruskopfes hat eine durchschnittliche Oberfläche von 24 cm<sup>2</sup> und einen Radius von 2,25 cm.<sup>23</sup> Lateral wird die Gelenkfläche von den beiden Tuberositae sowie dem Sulcus bicipitalis begrenzt, medial geht sie in den Calcar humeri über. Die Retroversion des Humeruskopfes unterliegt großer Variation von -6,7° - 47,5°.<sup>24</sup> Der durchschnittliche humerale Inklinationswinkel beträgt 135°.<sup>23</sup> Der Sulcus bicipitalis als bedeutende knöcherne Landmarke liegt 9 mm ventral der zentralen Humeruskopfachse.<sup>25</sup>

Die Gelenkoberfläche des Glenoids ist mit 6 cm<sup>2</sup> etwa drei- bis viermal kleiner als die des Humeruskopfes, hat jedoch einen geringfügig größeren Krümmungsradius.<sup>26</sup> Die Retroversion der Fossa glenoidalis zur Skapulablattebene variiert zwischen -2° und 8° mit einer durchschnittlichen superioren Inklination von 5°.<sup>3, 27</sup>

### **2.1.2 Glenohumeralgelenk - Kapsel und Bänder**

Die Gelenkkapsel umschließt den Glenoidhals und inseriert am osteochondralen Übergang des Humeruskopfes. Ventral ist die Kapsel dünn, wird jedoch von den kräftigen vorderen glenohumeralen Bändern durchzogen.<sup>3</sup> Insbesondere dem superioren Kapselanteil wird eine Bedeutung als passiver Stabilisator des Humeruskopfes zugesprochen.<sup>28-30</sup>

Das coracohumerale Ligament (CHL) kann in ein anteriores und posteriores Band unterteilt werden. Beide Anteile entspringen am lateralen Rand des Processus coracoideus und ziehen durch das Rotatorenintervall. Während das posteriore Ligament in die Faszie der Supraspinatussehne und die Kapsel einstrahlt, inseriert das anteriore Band am Tuberculum minus unmittelbar ventral der Subscapularissehne.<sup>3</sup>

Das superiore glenohumerale Ligament (SGHL) ist das kürzeste der 3 glenohumeralen Bänder. Es entspringt am Tuberculum supraglenoidale ventral der langen Bizepssehne und inseriert an der medialen Begrenzung des Sulcus bicipitalis, distal des CHLs.<sup>31</sup> Das SGHL wirkt einer anterioren und inferioren Translation des Humeruskopfes entgegen. Des Weiteren gilt es als Stabilisator für den intraartikulär verlaufenden Anteil der langen Bizepssehne.<sup>32-34</sup>

Verglichen mit dem SGHL ist das mittlere glenohumerale Ligament (MGHL) kräftiger und variabler in seiner Größe.<sup>35</sup> Der Ursprung befindet sich am Tuberculum supraglenoidale und dem anterosuperioren Labrum zwischen der 1- und 3-Uhr-Position. Die Fasern des MGHL kreuzen die anteriore Gelenkkapsel und strahlen in den posterioren Anteil der Subscapularissehne, etwa 2 cm medial der Insertion am Tuberculum minus, ein.<sup>36</sup> Als sekundärer glenohumeraler Stabilisator wirkt das MGHL der anterioren und inferioren Translation entgegen.<sup>36</sup>

Das anteriore und posteriore inferiore glenohumeralen Ligament, sowie die sich dazwischen aufspannende inferioren Gelenkkapsel, bilden den inferioren glenohumeralen Ligament-Komplex (IGHLK).<sup>37</sup> Dieser wirkt einer anteroinferioren Dezentrierung des Humeruskopfes bei zunehmender Abduktion und forcierter Außen- bzw. Innenrotation entgegen.

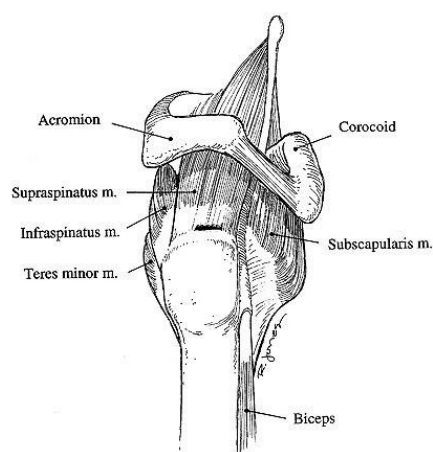
Medial werden zwei Insertionsformen des anteroinferioren glenohumeralen Ligaments (aIGHL) unterschieden: Typ 1 (80 %) mit Ursprung vom Labrum glenoidale und nur vereinzeltem Faserabgang vom Glenoid; Typ 2 (20 %) mit isolierter Insertion am Glenoidhals.<sup>38-40</sup> Die V-förmige humerale Insertion befindet sich unterhalb des Tuberculum minus nahe des osteochondralen Übergangs.<sup>41</sup>

Der Ursprung des posteroinferioren glenohumeralen Ligaments (pIGHL) liegt zwischen der 7- und 9-Uhr-Position am Glenoid, die Insertion auf Höher der 4-Uhr-Position am Humerus.<sup>38, 42</sup>

### 2.1.3 Muskeln der Rotatorenmanschette

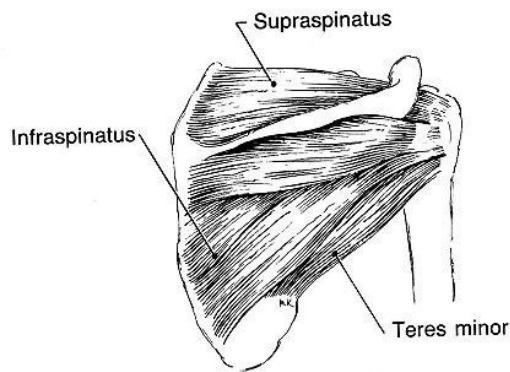
Die Rotatorenmanschette wird aus 4 Muskeln gebildet: M. subscapularis, M. supraspinatus, M. infraspinatus und M. teres minor.

Der M. subscapularis hat seinen Ursprung in der Fossa subscapularis der Scapula und inseriert trapezförmig am Tuberculum minus humeri (**Abb. 1**).<sup>23</sup> Er wirkt als Innenrotator und passiver Stabilisator der anterioren Subluxation entgegen. Des Weiteren übernehmen seine kaudalen Anteile eine Depressorfunktion für den Humeruskopf.



**Abb. 1** Anatomie der Rotatorenmanschette. Ansicht von lateral.<sup>1</sup>

Der M. supraspinatus entspringt in der Fossa supraspinata und verläuft zum Tuberculum majus humeri, dort hat er eine gemeinsame Insertion mit dem M. infraspinatus dorsal und dem Lig. coracohumerale ventral (**Abb. 1**).<sup>23</sup> Der M. Supraspinatus ist ein aktiver Elevator, zudem dient er als wesentlicher Stabilisator des Glenohumeralgelenkes.



**Abb. 2** Anatomie der Rotatorenmanschette. Ansicht von dorsal.<sup>1</sup>

Der Ursprung des M. infraspinatus liegt in der Fossa infraspinata, sein Ansatz befindet sich am Tuberculum majus zwischen dem M. supraspinatus ventrocranial sowie dem M. teres minor kaudal (**Abb. 2**).<sup>23</sup> Etwa 60 % der Außenrotationskraft werden durch den M. infraspinatus übernommen, darüber hinaus ist er ein bedeutender Depressor und Stabilisator gegenüber der posterioren Subluxation des Humeruskopfes.

Der M. teres minor entspringt am mittleren Anteil der Margo lateralis der Scapula und inseriert am unteren Anteil des Tuberculum minus (**Abb. 2**).<sup>23</sup>

Den Einfluss der posterosuperioren Rotatorenmanschettenruptur auf die Abduktions- und Außenrotationskraft zeigten Gerber et al. durch eine experimentelle selektive Blockade des Nervus suprascapularis.<sup>43</sup> Entsprechend hatte eine Paralyse der Mm. supraspinatus et infraspinatus einen durchschnittlichen Verlust der Außenrotationskraft um 80 % sowie der Abduktionskraft um 75 % zur Folge.

## **2.2 Muskuläre Veränderungen bei Defekten der Rotatorenmanschette**

Die Ruptur einer Sehne der Rotatorenmanschette resultiert in einer Veränderung ihrer Physiologie, Struktur und Funktion.<sup>44</sup> Durch den Verlust der Vorspannung kommt es zu einer radialen und longitudinalen Atrophie der Muskulatur.<sup>45, 46</sup> Myofibrillen desorganisieren sich, was zu einer Reduktion der Anzahl und Länge von Sarkomeren führt.<sup>47</sup> Die Degeneration der Myofibrillen führt zu einem Verlust an Muskelmasse und Volumen. Mit der Zeit kommt es durch die Retraktion zur Atrophie mit zunehmender Fibrosierung und fettigem Umbau.<sup>48</sup> Morphologische Studien zeigten hier eine intrafaszikuläre, extrafaszikuläre und intratendinöse Akkumulation von Adipozyten.<sup>48, 49</sup>

Die morphologischen Veränderungen der Muskulatur der Rotatorenmanschette nehmen bedeutenden Einfluss auf die klinische Entscheidungsfindung und das zu erwartende postoperative Ergebnis. So zeigten Khair et al. in einem systematischen Review, eine signifikant höhere Rerupturrate bei einer fettigen Degeneration  $\geq$  Stadium 2 n. Goutallier (Fettgewebsanteil  $\geq 50\%$ ).<sup>50</sup> Auch die fortgeschrittene Sehnenretraktion  $> 3,0 - 4,0$  cm stellt einen negativen prognostischen Faktor dar, da in diesen Fällen häufig nur eine Partialrekonstruktion der Rotatorenmanschette möglich ist.<sup>51, 52</sup>

### **3.0 Spezieller Teil – Latissimus dorsi Transfer**

#### **3.1 Indikationen und prädiktive Faktoren<sup>2</sup>**

Die Indikation zum Latissimus dorsi Transfer besteht bei nichtrekonstruierbaren Rupturen der posterosuperioren Rotatorenmanschette mit Verlust der aktiven Beweglichkeit (Flexion und Außenrotation) und Kraftreduktion. Unter Berücksichtigung der komplexen Nachbehandlungsphase sollten die Patienten über eine hohe Compliance und entsprechende psychomotorische Fähigkeiten verfügen.<sup>53</sup> Inwieweit sich das Vorliegen einer Revisionssituation auf das Ergebnis nach Latissimus dorsi Transfer auswirkt, dazu finden sich in der Literatur widersprüchliche Angaben.<sup>54</sup> Debeer et al. äußerten die Vermutung, dass arthroskopische Voroperationen keinen Einfluss nehmen, da diese die Integrität des Deltamuskels nicht verletzen.<sup>55</sup>

Die Insuffizienz der Subscapularissehne stellt hingegen einen bedeutenden negativen prädiktiven Faktor in Bezug auf das funktionelle Ergebnis, den Schmerzlevel sowie die Patientenzufriedenheit dar.<sup>54</sup> Entsprechend fand Gerber 33 Monate nach Latissimus dorsi Transfer nahezu 50 % schlechtere Resultate im alters- und geschlechtsspezifischen Constant-Murley Score bei rupturierter Subscapularissehne, verglichen mit intakter bzw. rekonstruierter Sehne.<sup>8</sup> Biomechanische Daten konnten diese klinischen Beobachtungen belegen, indem sie eine Dezentrierung des Humeruskopfes in Abduktion und Elevation nachwiesen.<sup>56</sup>

Weitere Kontraindikationen sind eine Läsion des N. axillaris bzw. ein funktionelles Defizit der Deltamuskulatur, ein akromiohumeraler Abstand < 5 mm, eine fortgeschrittene Omarthrose sowie das Vorliegen einer Schultersteife.<sup>57</sup>

Eine Insuffizienz des M. teres minor ist als relative Kontraindikation zu sehen. Zwar weist dieser Muskel nur eine geringe physiologische Querschnittsfläche auf, wodurch die potentielle Kraftentfaltung gegenüber den drei anderen Muskeln der Rotatorenmanschette relativ gering ist. Gleichzeitig verfügt er jedoch über das höchste Dehnungspotential. Ein intakter Teres minor

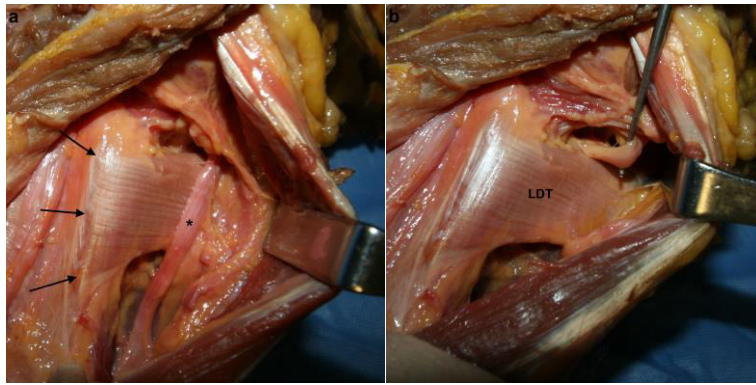


kann daher unter Umständen die Effektivität des Latissimus dorsi Transfer in Außenrotation verbessern.<sup>58</sup> Costouros et al. beobachteten, dass eine fettige Infiltration des M. teres minor > Stadium 2 n. Goutallier mit einer Verschlechterung der Resultate im postoperativen Constant-Murley Score, sowie einer Abnahme der aktiven Außen- und Elevationsfähigkeit vergesellschaftet war.<sup>19</sup> Interessanterweise hatte die Ruptur der Teres minor Sehne keinen Einfluss auf das postoperative Ergebnis.

### **3.2 Chirurgische Anatomie<sup>2</sup>**

Der M. latissimus dorsi inseriert über eine flächige Sehne (Breite 3,0 - 4,2 mm, Länge 7,3 - 8,5 mm) unmittelbar ventral der M. teres major Sehne an der Crista tuberculi minoris.<sup>59,60</sup> Letztere wird dabei zu 39 % von der Sehne des M. latissimus dorsi überlagert.<sup>61</sup> Die Innervation erfolgt über den N. thoracodorsalis. Dieser tritt etwa 13 cm medial der humeralen Insertion des M. latissimus dorsi von ventral in den Muskelbauch ein.<sup>60</sup>

Der Sehnenverlauf befindet sich in enger Lagebeziehung zum N. radialis und axillaris, der A. brachialis sowie der A. circumflexa posterior. Der N. radialis kreuzt die Sehne des M. latissimus dorsi ventral während der N. axillaris oberhalb davon verläuft (**Abb. 3**). In Flexion und Innenrotation, befindet sich der N. radialis 2,8 cm medial und der N. axillaris 2,3 cm superior der humeralen Insertion.<sup>61</sup> Ausgehend vom oberen Sehnenrand beträgt der Abstand zur A. brachialis 2,8 cm und zur A. circumflexa posterior 1,5 cm.<sup>62</sup> Ventral der Insertion der Latissimus dorsi Sehne kann eine bandartige Struktur palpiert werden, das Septum intermuskuläre. Dies stellt eine hilfreiche anatomische Leitstruktur für die Tenotomie dar. Ein Absetzen der Sehne posterior des Septums verhindert eine Läsion des N. radialis, welcher auf dieser Höhe etwa 2,5 cm medial des Humerus verläuft.<sup>60</sup>



**Abb. 3** Kadaver Dissektion einer rechten Schulter. Ansicht von ventral.<sup>2</sup>

a) Der N. radialis liegt 1,5 – 2,6 cm medial der Insertion der Latissimus dorsi Sehne. b) Der N. axillaris (Tasthaken) verläuft nach seinem Austritt aus dem Fasciculus posterior oberhalb der Sehne des Latissimus dorsi (LDT).

### 3.3 Biomechanische Grundlagen des Latissimus dorsi Transfer<sup>2</sup>

Eine posterosuperiore Läsion der Rotatorenmanschette hat zwei funktionellen Konsequenzen.<sup>7</sup>

(1) Das humerale Rotationszentrum, welches für eine effektive Deltafunktion erforderlich ist, wird destabilisiert. Dies führt zu einer superioren Migration des Humerus in der Flexions- und Abduktionsbewegung. (2) Die aktive Außenrotation geht verloren, folglich weicht der Arm bei Flexion und Abduktion in die Innenrotationsstellung ab. Dadurch wird ein höherer Flexionsgrad benötigt, um eine definierte Höhe zu erreichen.

Oh et al. konnten am Kadavermodell zeigen, dass der Latissimus dorsi Transfer in diesen Fällen den physiologischen Bewegungsradius bei Innen-/Außenrotation wiederherstellt und die Stabilisierung des Humerus unter Rotationsbewegung sowie die glenohumerales Kinematik verbessert.<sup>63</sup>

Der vorteilhafteste Sehnentransfer, unter biomechanischen Aspekten, maximiert das aktive Kraftmoment der Schulter, während das Passive reduziert wird. Der Kraftmoment selbst wird durch den Ansatzpunkt und die Exkursionsfähigkeit der transferierten Sehne beeinflusst. Magermans et al. untersuchten die Effektivität des Latissimus dorsi Transfer unter Berücksichtigung der Reinsertionszone am Humerus.<sup>64, 65</sup> Dabei zeigte sich der Sehnentransfer auf den Insertionsbereich der Supraspinatussehne hinsichtlich der Elevationsfähigkeit

überlegen. Der Effekt auf die Außenrotation und glenohumerale Stabilität war hingegen durch einen Versatz auf den Ansatz der Infrapinatussehne maximal.<sup>66</sup> Um bei der dorsalen Verankerung dem passiven Adduktionsmoment während der Abduktionsbewegung entgegen zu wirken, sollte der Patient über einen kräftigen Deltamuskel verfügen.

Grundsätzlich gilt, bei einer weit ventralen Positionierung der Sehne (Insertion Subscapularis) wirkt der M. latissimus dorsi als Innenrotator, während er bei einer dorsalen Refixation (Insertion Teres minor) ein Adduktor und Innenrotator bleibt. Der Transfer auf den posterosuperioren Anteil des Tuberculum majus scheint daher biomechanisch am aussichtsreichsten zu sein.<sup>64</sup>

Ein biomechanisches Argument für den isolierten M. Latissimus dorsi Transfer liefert eine Kadaverstudie.<sup>16</sup> Diese zeigte bei Transposition des M. Latissimus dorsi auf das Tuberculum majus eine Elongation um 33 %, verglichen hierzu war für den M. teres major eine Verlängerung von 47 % nachweisbar. Die Sehnenexkursion gewinnt insbesondere bei zunehmender Abduktion ( $> 60^\circ$ ) an Bedeutung, da es hierdurch zu einem unerwünschten Anstieg des glenohumeralen Kontaktdruckes kommt.<sup>63</sup>

Nicht abschließend beantwortet lässt sich hingegen die Frage, ob die funktionelle Verbesserung nach Latissimus dorsi Transfer auf synergistische, aktive Muskelkontraktionen oder den Tenodese-Effekt zurückzuführen ist.<sup>8, 22, 67-69</sup> Während Iannotti et al. keine oder nur geringe Muskel-Aktionspotentiale bei isometrischer Abduktion und Außenrotation beobachteten, konnte in anderen Studien durchaus eine Muskelaktivität nachgewiesen werden<sup>10, 21, 22, 67</sup>.

### **3.4 Operationsmethoden und Ergebnisse<sup>2</sup>**

Der Latissimus dorsi Transfer kann isoliert oder in Kombination mit dem M. teres major (L'Episcopo Technik) durchgeführt werden. Darüber hinaus existieren technische Modifikationen hinsichtlich der Wahl des Zugangs, des Reinsertionsortes der Sehne sowie der Invasivität (offen oder arthroskopisch assistiert).

Die klassische Technik nach Gerber erfolgt in Seitenlage über einen anterolateralen und dorsalen Zugang.<sup>7</sup> Die dorsale Inzision verläuft bogenförmig vom Angulus inferior der Skapula entlang des lateralen Skapularandes bis zum Apex der Axilla. Die Sehne des M. latissimus dorsi wird von ihrem Insertionsgebiet am Humerusschaft scharf abgelöst und auf einer Länge von etwa 12 cm mobilisiert. Anschließend wird der anterolaterale Deltasplit durchgeführt. Die Refixation der Sehne erfolgt am posterosuperioren Tuberculum majus.

Zwei Studien mit Langzeit-Ergebnissen nach Latissimus dorsi Transfer in der von Gerber beschriebenen Technik wurden in den letzten Jahren publiziert.<sup>70, 71</sup> Gerber et al. konnten 45 Patienten (47 Schultern) nach mindestens 10 Jahren nachuntersuchen.<sup>70</sup> Diese zeigten eine signifikante Verbesserung im Subjective Shoulder Value (29 % vs. 70 %), im alters- und geschlechtsspezifischen Constant-Murley Score (56 % vs. 80 %) und im Schmerzscore (7 P vs. 13 P). Außerdem eine signifikante Zunahme der Flexion (118° vs. 132°), Abduktion (112° vs. 123°) und Außenrotation (18° vs. 33°). Neben den bekannten negativen prädiktiven Faktoren (Insuffizienz des M. subscapularis und M. teres minor) war auch ein Critical Shoulder Angle > 36° mit schlechteren klinischen Ergebnisse vergesellschaftet. El-Azab et al. zeigten unter Einschluss von 86 Patienten in einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 9,3 Jahren vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich Funktion und Schmerzreduktion.<sup>71</sup> In 10 % der Fälle wurde ein Versagen der Technik innerhalb der ersten zwei Jahre beobachtet, wobei 4 % dieser Patienten mit einer inversen Prothese versorgt wurden.

Die Technik nach Habermeyer und Herzberg stellt eine weitere Modifikation der L'Episcopo Technik zugunsten des isolierten Latissimus dorsi Transfers in „single-incision-technique“ mit Transfer auf den Insertionsbereich des M. infraspinatus dar.<sup>14, 58</sup> Durch den singulären dorsalen Zugang ist das Ablösen des M. deltoideus nicht erforderlich. Der Vorteil wird darin gesehen, eine Insuffizienz des M. Deltoideus zu vermeiden, welche schlechtere funktionelle Resultate nach Latissimus dorsi Transfer zur Folge hat.<sup>15</sup> Lichtenberg et al. verglichen in einer matched-pair Analyse den kombinierten (L'Episcopo) und isolierten Latissimus dorsi Transfer

(Herzberg).<sup>17</sup> Beide Gruppen zeigten nach durchschnittlich 6 Jahren eine signifikante Verbesserung im Constant-Murley Score sowie der aktiven Beweglichkeit, wobei die aktive Abduktion und Flexion beim isolierten Latissimus dorsi Transfer überlegen war. Ergänzend wurde in dieser Gruppe kein Fortschreiten der Defektarthropathie beobachtet. Im Gegensatz dazu konnte bei Patienten, welche mit der L'Episcopo Technik operiert wurden, eine signifikante Zunahme der Außenrotationskraft nachgewiesen werden.

Der Transfer von Latissimus dorsi und Teres major ist technisch auch über einen deltopectoralen Zugang in Beach Chair Position möglich (Nice L'Episcopo).<sup>72</sup> Dies scheint vor allem dann sinnvoll, wenn die Implantation einer inversen Prothese mit dem Sehnentransfer kombiniert wird, um zusätzlich zur aktiven Elevation auch die Außenrotationsfähigkeit wiederherzustellen. Die klinischen Resultate sind vielversprechend, es handelt sich jedoch im Wesentlichen um kleinere Fallserien mit kurzem Nachuntersuchungszeitraum.<sup>72-76</sup> Unter Berücksichtigung der hohen Komplikationsrate von bis zu 29 %, sollte der Kombinationseingriff ausschließlich Patienten vorbehalten werden, bei denen die Indikation zur inversen Prothese besteht und zusätzlich ein ausgeprägtes Außenrotationsdefizit mit hochgradiger Atrophie der Infraspinatus- und Teres minor Sehne vorliegt.<sup>77</sup>

Die Komplikationsrate des Latissimus dorsi Transfer wird mit 9,5 % angegeben, wobei die durchschnittliche Rerupturrate der transferierten Sehne bei 3,4 % liegt.<sup>78</sup> Um das Einheilungspotential zu verbessern, beschrieben Tauber et al. die Sehnenentnahme im knöchernen Verbund über einen 7 - 8 cm langen Zugang in der Axilla.<sup>79</sup> Die Anzahl der Rerupturen konnte mit dieser Technik gegenüber der Tenotomie nachweislich gesenkt werden.<sup>11</sup>

In den vergangenen Jahren wurden zunehmend arthroskopisch assistierte Techniken beschrieben. Hierbei wird die Latissimus dorsi über eine axilläre Inzision gehoben und arthroskopisch gestützt am ventralen Tuberculum majus reinseriert.<sup>80</sup> Die bisherigen

Ergebnisse scheinen mit den offenen Verfahren vergleichbar, es bleibt jedoch abzuwarten, ob diese auch längeren Nachuntersuchungszeiträumen standhalten.<sup>80-84</sup>

## **4.0 Material und Methode**

### **4.1 Patientenkollektiv**

Die retrospektive Studie umfasste 29 Patienten die zwischen 2001 und 2007 mittels Latissimus dorsi Transfer in „single-incision-technique“ nach Habermeyer/Herzberg versorgt wurden. Bei sämtlichen Patienten bestand eine komplette Ruptur der Sehne des M. supraspinatus und M. infraspinatus. In keinem Fall war eine anatomische Rekonstruktion, direkte Refixation der Sehnen im Insertionsgebiet aufgrund der fortgeschrittenen Retraktion (Grad 3 n. Patte) und muskulären Atrophie ( $\geq$  Stadium 4 n. Goutallier) möglich.<sup>85, 86</sup>

Bei allen Patienten war eine mindestens 6-monatige Behandlung mit nichtsteroidalen Antirheumatika (NSAR) und Physiotherapie vorausgegangen. Persistierender Schmerz und inakzeptable Dysfunktion stellten die Indikation für den Latissimus dorsi Transfer dar. Ausschlusskriterien waren eine chronische, schmerzfreie Pseudoparalyse, Ruptur der Subscapularissehne, Omarthrose, akromiohumeraler Abstand  $< 5$  mm und Schultersteife.

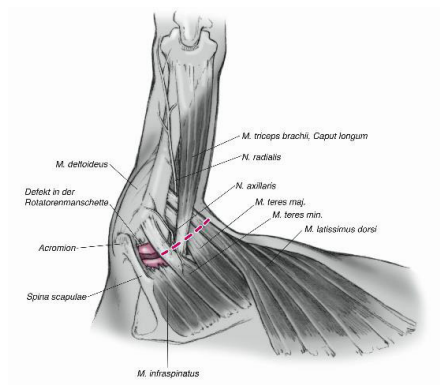
Die Patienten wurden klinisch und kernspintomographisch nachuntersucht. Zudem wurde das postoperative Ergebnis anhand des Constant-Murley Score quantifiziert.<sup>87</sup>

Zwei Patienten wurden aus der Studiengruppe ausgeschlossen (1 Poliomyelitis und 1 kombinierter M. latissimus dorsi und M. teres major Transfer).

### **4.2 Operative Technik**

Der M. latissimus dorsi Transfer wurde in der Modifikation n. Habermeyer/Herzberg mit nur einem dorsalen Zugang („single-incision-technique“) durchgeführt.<sup>14</sup> Die Lagerung erfolgte in Seitenlage. Dem Sehnentransfer ging eine diagnostische Arthroskopie voraus, hierbei wurde die langen Bizepssehne tenotomiert.

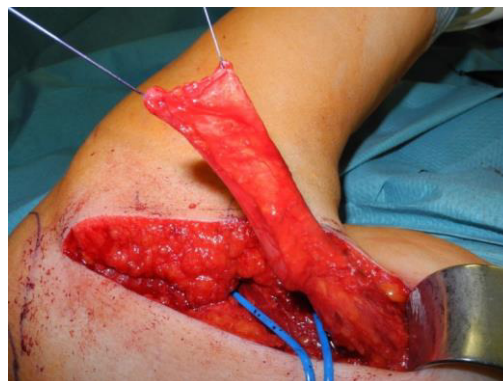
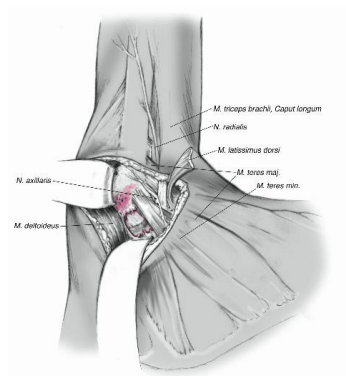
Der Zugang wurde über eine bogenförmige Hautinzision beginnend am Angulus inferior der Skapula entlang des lateralen Skapularandes bis zum Apex der Axilla durchgeführt (**Abb. 4**).



**Abb. 4** Seitenlagerung, posteriorer Zugang, „Single-Incision-Technique“.<sup>3</sup>

Der M. latissimus dorsi und Teres major wurden identifiziert. Anschließend wurde der M. latissimus dorsi vom M. teres major stumpf digital getrennt, zirkulär freipräpariert und bis zum Eintritt des Gefäßnervenbündels mobilisiert.

Der Arm wurde in 90° Flexion und maximale Innenrotation geführt. In dieser Position wurde die Sehne des M. latissimus dorsi von ihrem Insertionsgebiet am Humerusschaft und der Thoraxwand auf einer Länge von 12 cm scharf abgelöst (**Abb. 5**).

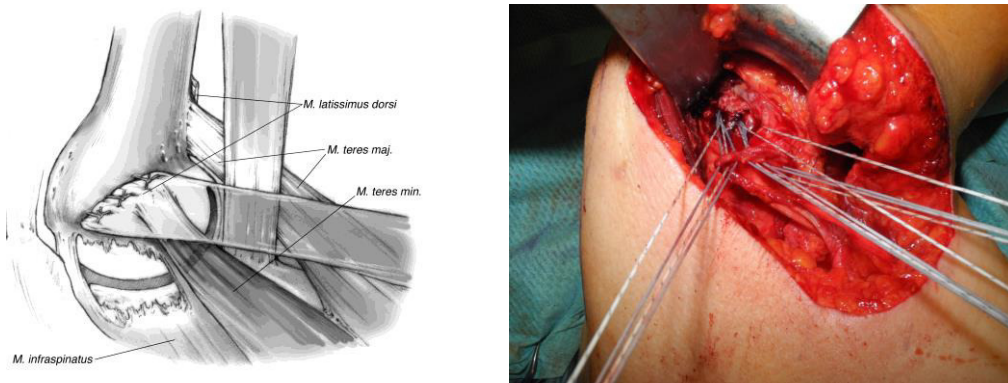


**Abb. 5** Mobilisation der abgelösten Latissimus dorsi Sehne.<sup>3</sup>

Mit dem Arm in 90° Flexion und maximaler Außenrotation wurde der posterosuperiore Anteil des Tuberculum majus aufgesucht und ein 3 cm messender Bereich präpariert. In das vorbereitete knöcherne Lager wurden drei 5,5 mm Titan-Nahtanker (Corkscrew FT, Arthrex



Inc., Naples, FL, U.S.A.) in einem 1 cm Abstand eingebracht. Die mobilisierte M. latissimus dorsi Sehne wurde nun zum vorbereiteten knöchernen Lager am posterosuperioren Anteil des Tuberculum majus transferiert und in Mason-Allen-Nahttechnik fixiert (**Abb. 6**).



**Abb. 6** Fixation der Latissimus dorsi Sehne im Insertionsbereich der Infraspinatussehne.<sup>3</sup>

### 4.3 Nachbehandlung

Der Arm wurde für 48 Stunden im Gilchrist-Verband ruhiggestellt. Für weitere 3 Wochen erfolgte die Ruhigstellung im Abduktionskissen. In diesem Zeitraum bestand eine Limitation der passiven Beweglichkeit bis 30° Abduktion, 30° Flexion, 60° Innenrotation und 0° Außenrotation. Von der 4. – 6. Woche war die Abduktion bis 60°, Flexion bis 90°, Innenrotation bis 90° und Außenrotation bis 0° zulässig. Nach der 6. Woche wurde die Beweglichkeit freigegeben. Mit muskulären Kräftigungsübungen wurde nach Erreichen der freien passiven Beweglichkeit begonnen.

### 4.4 Klinische Untersuchung

Die aktiven und passiven Bewegungsumfänge der operierten Seite wurden beurteilt. Die Messung erfolgte mittels Goniometer. Die Bewegungsumfänge wurden nach der Neutralnullmethode dokumentiert.<sup>4</sup> Die Innenrotation wurde nach der mit dem ausgestreckten

Daumen erreichbaren Struktur an Gesäß und Rücken bestimmt.<sup>4</sup> Bei der Beurteilung des passiven Bewegungsumfangs wurde die Skapula durch den Codman-Griff stabilisiert.<sup>88</sup>

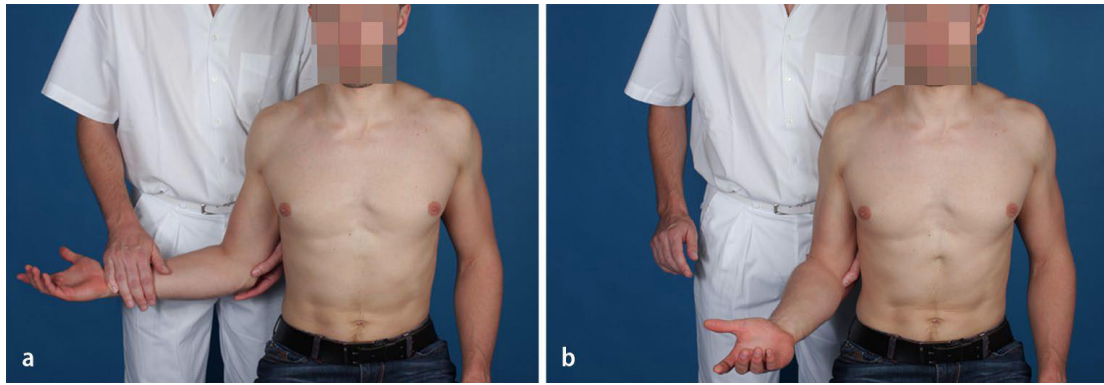
Zudem wurden Tests zur Beurteilung der Funktion des M. latissimus dorsi durchgeführt. Diese waren das Drop-Arm-Zeichen, Außenrotations-Lag-Zeichen in Adduktion und das Hornblower-Zeichen.<sup>88-90</sup>

Das Drop-Arm-Zeichen wird positiv gewertet, wenn der Patient nicht in der Lage ist den passiv abduzierten Arm gegen die Schwerkraft zu halten (**Abb. 7**).<sup>88</sup>



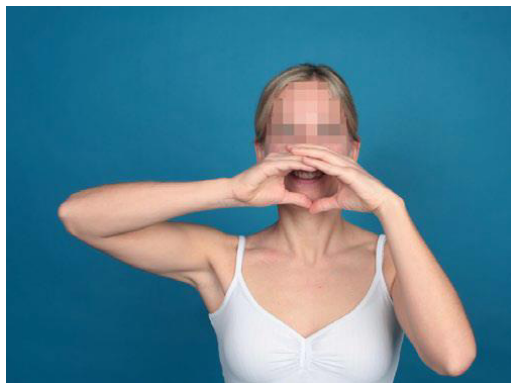
**Abb. 7** Drop-Arm-Zeichen.<sup>4</sup>

Zur Prüfung des Außenrotations-Lag-Zeichens in Adduktion wird der Arm in 20° Elevation (Skapulaebene) geführt (**Abb. 8**).<sup>89</sup> Der Ellenbogen des Patienten wird dabei vom Untersucher unterstützt. Nun wird der Arm in eine submaximale Außenrotationsstellung gebracht. Der Test ist positiv, wenn der Patient den Arm nicht in dieser Position fixieren kann und in die Innenrotation zurückweicht.



**Abb. 8** ARO-Lag-Zeichen.<sup>4</sup>

Das Hornblower-Zeichen gilt als positiv, wenn es dem Patienten nicht möglich ist die Hand zum Mund zu führen, ohne dabei den Ellenbogen höher zu heben als die Hand (**Abb. 9**).<sup>90</sup>



**Abb. 9** Hornblower-Zeichen.<sup>4</sup>

#### 4.5 Constant-Murley Score

Um das postoperative Ergebnis zu quantifizieren wurde der Constant-Murley Score erhoben.<sup>87</sup> Dieser gilt als der am besten geeignete Fragebogen zur Beurteilung der allgemeinen Schulterfunktion.<sup>91</sup> Der Fragebogen setzt sich aus vier Untergruppen zusammen. Zwei subjektive Kategorien (35 %), „Schmerz“ und „Alltagsaktivitäten“, sowie zwei objektive Kategorien (65 %), „Bewegungsumfang“ und „Kraft“. Es kann ein Gesamtwert von 100 Punkten erreicht werden (**Abb. 10**).

Parameter	Score
Pain	15
Activities of daily living	20
Range of motion	40
Power	25
Total	100

**Abb. 10** Punkteverteilung des Constant-Murley Score bezogen auf die 4 Untergruppen.<sup>5</sup>

Im Teilbereich „Schmerz“ werden maximal 15 Punkte vergeben. Auf einer visuellen Analogskala wird der stärkste Schmerz den der Patient bei Alltagsaktivität in einem Zeitraum von 24-Stunden empfindet dokumentiert. Die Endpunkte der Analogskala sind, „kein Schmerz“ (15 Punkte) und „stärkster Schmerz“ (0 Punkte) (**Abb. 11**).

Pain experienced	Score
None	15
Mild	10
Moderate	5
Severe	0

**Abb. 11** Punkteverteilung „Schmerz“.<sup>5</sup>

In der Kategorie „Alltagsaktivitäten“ können 20 Punkte erreicht werden. Nicht gestörter Schlaf 2 Punkte, gelegentliches Aufwachen 1 Punkt, regelmäßiges Aufwachen 0 Punkte. Jeweils 4 Punkte werden auf den Aktivitätslevel in Beruf und Freizeit vergeben. Zudem wird die für den Patienten mögliche Arbeitshöhe beurteilt, von Gürtelhöhe (0 Punkte) bis über den Kopf (10 Punkte) (**Abb.12**).

Activity	Score
Activity level	
Full work	4
Full recreation/sport	4
Unaffected sleep	2
Positioning	
Up to waist	2
Up to xiphoid	4
Up to neck	6
Up to top of head	8
Above head	10
Total	20 <sup>a</sup>

**Abb. 12** Punkteverteilung „Alltagsaktivitäten“.<sup>5</sup>

Für den Bewegungsumfang werden 40 Punkte vergeben. Mit dem Goniometer wurden die 4 Bewegungsrichtungen, Abduktion (10 Punkte), Flexion (10 Punkte), Außenrotation (10 Punkte) und Innenrotation (10 Punkte), beurteilt (**Abb. 13, 14, 15**). Die Bewegungen mussten aktiv und schmerzfrei durchgeführt werden.

Elevation (°)	Points
0–30	0
31–60	2
61–90	4
91–120	6
121–150	8
151–180	10

**Abb. 13** Punkteverteilung Abduktion und Flexion.<sup>5</sup>

Position	Points
Hand behind head with elbow held forward	2
Hand behind head with elbow held back	2
Hand on top of head with elbow held forward	2
Hand on top of head with elbow held back	2
Full elevation from on top of head	2
Total	10

**Abb. 14** Punkteverteilung Außenrotation.<sup>5</sup>

Position	Points
Dorsum of hand to lateral thigh	0
Dorsum of hand to buttock	2
Dorsum of hand to lumbosacral junction	4
Dorsum of hand to waist (third lumbar vertebra)	6
Dorsum of hand to 12th dorsal vertebra	8
Dorsum of hand to interscapular region (DV 7)	10

**Abb. 15** Punkteverteilung Innenrotation.<sup>5</sup>

Bei der Kraftmessung können maximal 25 Punkte erreicht werden. Die Messungen erfolgten mit dem Isobex-Dynamometer (Cursor AG, Bern, Schweiz) bei 90° Elevation (Skapulaebene) und Pronation.<sup>91</sup> Das Dynamometer gibt den Mittelwert von 50 Messungen über einen Zeitraum von 5 Sekunden in Kilogramm an. Die Schlinge des Dynamometers war am Handgelenk befestigt. Es wurden jeweils drei Messungen durchgeführt.

Die dem Constant-Murley Score zugrundeliegenden alters- und geschlechtsspezifischen Normalwerte gelten für ein irisches Patientenkollektiv. Die maximale Punktzahl bei der Kraftmessung (25 Punkte), entsprechend 25 Pfund (11,34 kg), gilt für ein 25-jähriges männliches Individuum. Um eine alters- und geschlechtsspezifische Korrelation der Gesamtpunktzahl des Constant-Murley Score für ein deutsches Patientenkollektiv zu erhalten, wurde der Thomas Score angewandt.<sup>92</sup>

#### **4.6 Radiologische Untersuchung**

Alle Patienten wurden in einem offenen 2,5 Tesla Magnet-Resonanz-Tomographen (Esaote SpA, Genua, Italien) nachuntersucht. Die Schulter wurde in Rückenlage mit seitlich anliegendem Arm positioniert. Es wurden parasagittale und axiale T1 gewichtete Spinechosequenzen angefertigt. Die Datensätze wurden als DICOM-Dateien auf Compact Discs gespeichert. Für die Datenanalyse wurden eine Workstation des Typs „Advantage Windows“ (General Electric, Milwaukee, WI, U.S.A) sowie das Softwareprogramm „Functool 2.5.24“ (General Electric, Milwaukee, WI, U.S.A.) verwendet.

Die objektive Beurteilung der Muskelqualität erfolgte anhand eines vorab beschriebenen Protokolls.<sup>93,94</sup> Die Sehne des transferierten M. latissimus dorsi wurde in der parasagittalen und axialen Ebene auf Intaktheit überprüft. Zur quantitativen Beurteilung der fettigen Muskeldegeneration diente die Bestimmung der Signal-to-Noise Ratio (SNR) des M. latissimus dorsi, M. teres minor und M. subscapularis. Zudem wurde die Signal-to-Signal-Ratio (SSR) berechnet. Als Referenzmuskel diente hierfür der M. trizeps brachii caput longum, da er keinen Einfluss auf das transversale Force couple nimmt und regelhaft zu vermessen ist.<sup>12</sup>

Der M. latissimus dorsi, M. teres minor und M. subscapularis wurde in der parasagittalen Ebene in der von Thomazeau et. al beschriebenen „Y-Schnittposition“ beurteilt.<sup>95</sup> Definiert wird diese Schnittebenen durch die identische Länge des anterioren (Processus coracoideus) und posterioren (lateralen Anteil der Spina scapulae) Skapulaschenkels. Die anterosuperiore Begrenzung bildet die Klavikula. Der als Referenzmuskel dienende M. trizeps brachii caput longum wurde in der parasagittalen Ebenen auf Gelenkspaltniveau beurteilt.

Die mittleren Signalintensitäten sowie die Standardabweichungen in den verschiedenen Anteilen des M. latissimus dorsi, M. teres minor, M. subscapularis und M. trizeps brachii caput longum wurden in den parasagittalen T1 gewichteten Spinechosequenzen gemessen. Die Größe der elliptischen Regions of Interest (ROI) war identisch und betrug 16 mm<sup>2</sup>. Es wurden jeweils 3 ROIs im kranialen, mittleren und kaudalen M. latissimus dorsi, M. teres minor, M. subscapularis und M. trizeps brachii caput longum positioniert (**Abb. 16**). Zusätzlich wurde eine ROI im Artefakt freien Hintergrund auf der Höhe des jeweiligen Bezugsmuskels positioniert. Aus den für das Muskelgewebe durchgeführten Messungen wurde der Mittelwert berechnet.



**Abb. 16** Parasagittale Ebene, „Y-Schnittposition“: 3 Regions of Interest (16mm<sup>2</sup>) im kranialen, mittleren und kaudalen M. latissimus dorsi (gestrichelte Linie). SSP; M. Supraspinatus, SSC; M. Subscapularis, ISP; M. infraspinatus, TM; M. teres minor.

Die Berechnung der SNR erlaubt die quantitative Analyse und den Vergleich verschiedener MRT-Untersuchungen. Die SNR wurde nach der Formel von Hendrick et al. berechnet.<sup>96</sup>

$$\text{SNR} = (\text{SI}_{\text{Gew}} - \text{SI}_{\text{HG}}) / \text{SD}_{\text{HG}}$$

SI<sub>Gew</sub> : mittlere Signalintensität im Muskelgewebe

SI<sub>HG</sub>: mittlere Signalintensität im Hintergrund

SD<sub>HG</sub>: Standardabweichung der mittleren Signalintensität im Hintergrund

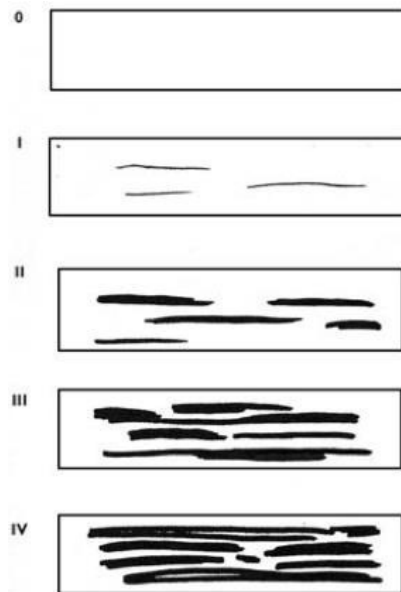
Die Signal-to-Signal-Ratio (SSR) errechnet sich aus dem SNR des zu beurteilenden Muskels dividiert durch die SNR des jeweiligen Referenzmuskels.<sup>93</sup> Es wurde die SSR für den M. latissimus dorsi, M. teres minor und M. subscapularis berechnet.

Zusätzlich wurde die fettige Degeneration des M. latissimus dorsi, M. teres minor und M. subscapularis anhand der von Goutallier et al. beschriebenen fünfstufigen Einteilung dokumentiert.<sup>86</sup> Diese gibt den Anteil von Fettgewebe im Muskelgewebe an. Stadium 0



entspricht normalem Muskelgewebe, Stadium 1 einer geringen fettigen Infiltration, Stadium 2 einem Fettgewebsanteil unter 50 % des Muskelgewebes, Stadium 3 einem Fettgewebsanteil von 50 % und Stadium 4 einem Fettgewebsanteil über 50 % des Muskelgewebes (**Abb. 17**).

Die Einteilung wurde von zwei Untersuchern durchgeführt und diskutiert.



**Abb. 17** Klassifikation der fettigen Muskeldegeneration n. Goutallier<sup>5</sup>.

Alle Messdaten wurden für die spätere EDV Auswertung in einem Auswertungsbogen erfasst (Excel 2003, Microsoft Corp., Redmond, WA, USA).

#### **4.7 Einteilung der Gruppen**

Die Einteilung der Patienten in Gruppen erfolgte anhand der von Goutallier et al. beschriebenen Einteilung im MRT für den M. latissimus dorsi (LD) und M. teres minor (TM).<sup>86</sup>

Gruppe A umfasste Patienten mit einer geringgradigen fettigen Degeneration des jeweiligen Muskelgewebes unter 50 %, entsprechend Stadium 0, 1 und 2 n. Goutallier. In Gruppe B wurden Patienten mit höhergradigem Fettgewebsanteil ( $\geq 50$  %) zusammengefasst. Dies entsprach den Stadium 3 und 4 n. Goutallier.

Es wurden 2 Gruppen gebildet, basierend auf der isolierten Betrachtung des M. latissimus dorsi und M. teres minor. Gruppe A<sub>LD</sub> umfasste Patienten mit fettiger Degeneration des M. latissimus dorsi unter 50 %, Gruppe B<sub>LD</sub> Patienten mit fortgeschrittener Degeneration ( $\geq 50$  %). Entsprechend wurden in Gruppe A<sub>TM</sub> Patienten mit einem Fettgewebsanteil des M. teres minor  $< 50$  % und in Gruppe B<sub>TM</sub>  $\geq 50$  % erfasst.

#### **4.8 Statistische Methoden**

Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden nominale oder ordinale Daten als absolute und relative Häufigkeit angegeben. Für metrische Daten wurden der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Das Signifikanzniveau wurde mit  $p < 0,05$  definiert. Unterschiede zwischen den funktionellen und radiologischen Parametern der Gruppen wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test ermittelt. Zur Bestimmung von Korrelationen metrischer Daten wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient und von kategoriellen Daten wurde der Rangkorrelationskoeffizient n. Spearman berechnet.

Die statistische Analyse erfolgte mit SPSS für Windows Version 13.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A.).

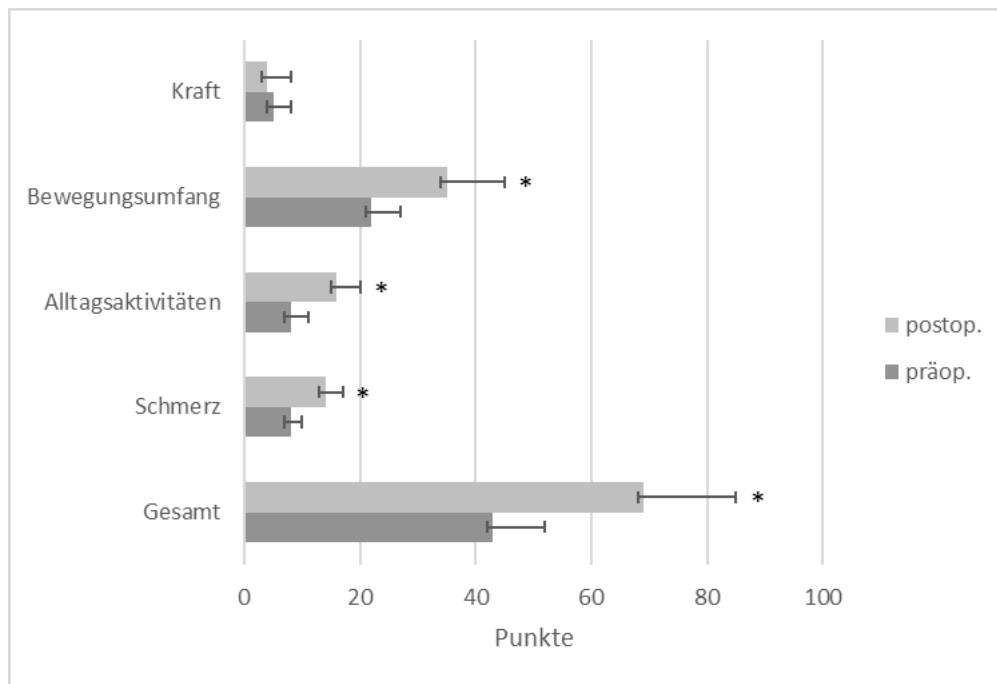
## **5.0 Ergebnisse**

### **5.1 Gesamtes Patientenkollektiv – Funktionelle Ergebnisse und Constant-Murley Score**

27 Patienten wurden nachuntersucht. 17 Patienten waren Männer (63 %) und 10 Patienten waren Frauen (37 %). Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation lag bei  $65,3 \pm 5,4$  Jahren (53 - 76 Jahre). Bei 18 Patienten (69 %) war die dominante Seite betroffen. Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum lag bei  $46,3 \pm 16,3$  Monaten (29 - 79 Monate).

Die durchschnittliche aktive Abduktion verbesserte sich signifikant von präoperative  $118^\circ$  ( $45^\circ$  -  $180^\circ$ ) auf postoperativ  $163^\circ$  ( $80^\circ$  -  $180^\circ$ ;  $p = 0,001$ ). Die aktive Flexion verbesserte sich signifikant von  $131^\circ$  ( $30^\circ$  -  $180^\circ$ ) auf  $170^\circ$  ( $100^\circ$  -  $180^\circ$ ;  $p = 0,001$ ). Die mittlere aktive Außenrotation ergab keinen signifikanten Unterschied; präoperativ  $26^\circ$  ( $-20^\circ$  -  $60^\circ$ ) und postoperativ  $23^\circ$  ( $0^\circ$  -  $70^\circ$ ). Das Droparm-Zeichen war in allen Fällen negativ. Bei 12 Patienten (46 %) zeigte sich ein positives Außenrotations-Lag-Zeichen. Das Hornblower-Zeichen war bei neun Patienten (35 %) positiv.

Die mittlere Gesamtpunktzahl des Constant-Murley Score verbesserte sich signifikant von präoperativ 43 Punkten (14 - 67 P) auf 69 Punkte (49 - 82 P;  $p < 0,001$ ). Die mittlere alters- und geschlechtsspezifische Gesamtpunktzahl (Thomas Score) lag bei 65 Punkten (53 - 76 P). In der Kategorie „Schmerz“ wurden durchschnittlich 14 Punkte (10 - 15 P), „Alltagsaktivitäten“ 16 Punkte (4 - 20 P), „Bewegungsumfang“ 35 Punkte (20 - 40 P) und „Kraft“ 4 Punkte (0 - 10 P) erreicht. In den Teilbereichen „Schmerz“, „Alltagsaktivitäten“ und „Bewegungsumfang“ zeigte sich jeweils eine signifikante Verbesserung gegenüber den präoperativen Ergebnissen ( $p < 0,001$ ), wobei im Teilbereich „Kraft“ kein Unterschied bestand (**Abb. 18**).



**Abb. 18** Constant-Murley Score - gesamtes Patientenkollektiv (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; \* =  $p < 0.001$ ).

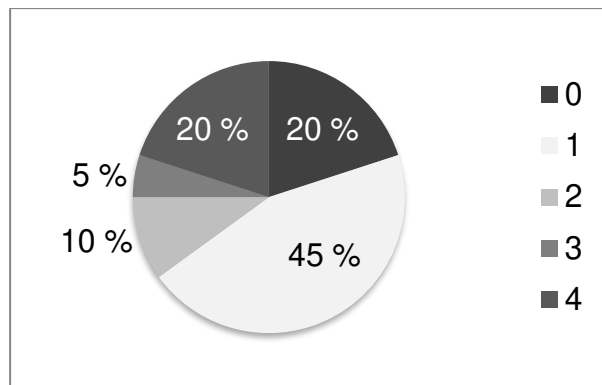
## 5.2 Gesamtes Patientenkollektiv – Radiologische Ergebnisse

Der aus den 3 ROIs für den M. latissimus dorsi in der parasagittalen Ebene bestimmte Mittelwert der Signalintensität war 926,7 (610,6 - 1356,3). Der im Artefakt freien Hintergrund gemessene Mittelwert war 150,0 (84,2 - 293,5). Die errechnete SNR für den M. latissimus dorsi ergab im Durchschnitt 25,9 (6,5 - 70,3) (**Tab. 1**).

Die deskriptive Beurteilung der fettigen Degeneration des M. latissimus dorsi anhand der fünfstufigen Einteilung n. Goutallier lag mit einem mittleren Wert von 1,6 (Stadium 0 - 4) zwischen Stadium 1 und Stadium 2 (**Abb. 19**).

	mean	range
SI <sub>LD</sub>	926,7	610,6 - 1356,3
SNR <sub>LD</sub>	25,9	6,5 - 70,3

**Tab. 1** Signalintensität (SI) und Signal-to-Noise Ratio (SNR) des M. latissimus dorsi (LD).



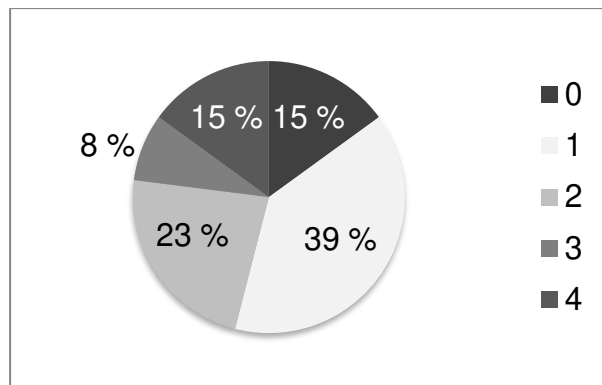
**Abb. 19** Prozentuale Verteilung der Stadien (0 – 4) der Klassifikation n. Goutallier für den M. latissimus dorsi.

Der für den M. teres minor aus den 3 Regions of Interest errechnete Mittelwert der Signalintensität lag bei 954,4 (663,6 - 1427,8). Der Mittelwert im Hintergrund lag durchschnittlich bei 139,1 (86,9 - 225,2). Für den M. teres minor war die mittlere SNR 29,7 (10,3 - 69,1) (**Tab. 2**).

Die Goutallier Einteilung zeigte einen mittleren Wert von 1,7 (Stadium 0 - 4) (**Abb. 20**). Es wurde eine signifikante Korrelation zwischen der fettigen Degeneration des M. teres minor und der aktiven Außenrotationsfähigkeit ( $r = 0,5$ ;  $p = 0,01$ ) sowie dem Außenrotations-Lag-Zeichen ( $r = 0,52$ ;  $p = 0,01$ ) beobachtet.

	mean	range
SI <sub>TM</sub>	954,4	663,6 - 1427,8
SNR <sub>TM</sub>	29,7	10,3 - 69,1

**Tab. 2** Signalintensität (SI) und Signal-to-Noise Ratio (SNR) des M. teres minor (TM).



**Abb. 20** Prozentuale Verteilung der Stadien (0 – 4) der Klassifikation n. Goutallier für den M. teres minor.

Der Mittelwert der Signalintensität für den M. subscapularis lag bei 599,3 (435,7 - 846,0). Im Hintergrund war der Mittelwert  $131,9 \pm 30,6$ . Die mittlere SNR war 17,9 (6,0 - 39,8). Nach der Goutallier Einteilung ergab sich ein mittlerer Wert von 0,6 (Stadium 0 - 2) (**Tab. 3**).

	mean	range
SI <sub>SSC</sub>	599,3	435,7 - 846,0
SNR <sub>SSC</sub>	17,9	10,3 – 69,1

**Tab. 3** Signalintensität (SI) und Signal-to-Noise Ratio (SNR) des M. subscapularis (SSC).

Der als Referenzmuskel dienende M. trizeps brachii caput longum hatte einen Mittelwert der Signalintensität von 763,3 (551,7 - 1149,3). Der mittlere Hintergrundwert war 176,2 (90,7 - 331,8). Die mittlere SNR ergab 17,1 (7,2 - 48,5).

Die SSR für den M. latissimus dorsi war 1,7 (0,3 - 4,4), für den M. teres minor 1,9 (0,7 - 5,2) und für den M. subscapularis 1,2 (0,4 - 3,8) (**Tab. 4**).

	mean	range
SSR <sub>LD</sub>	1,7	0,3 - 4,4
SSR <sub>TM</sub>	1,9	0,7 - 5,2
SSR <sub>SSC</sub>	1,2	0,4 - 3,8

**Tab. 4** Signal-to-Signal Ratio (SSR) des M. latissimus dorsi (LD), M. teres minor (TM) und M. subscapularis (SSC).

### 5.3 Gruppe A<sub>LD</sub> und Gruppe B<sub>LD</sub>

In Gruppe A<sub>LD</sub> (15 Patienten) (**Tab. 5**) war die mittlere aktive Außenrotation 36° (0° - 70°), die mittlere aktive Abduktion 166° (80° - 180°) und die mittlere aktive Flexion 173° (100° - 180°).

	Gruppe A <sub>LD</sub>	Gruppe B <sub>LD</sub>
Anzahl (n)	15	11
Alter (Jahre)	65 (53 - 71)	65 (60 - 70)
weiblich/ männlich	6 / 9	3 / 8
Nachuntersuchungs- zeitraum (Monate)	45 (31 - 76)	45 (36 - 79)

**Tab. 5** Patientenkollektiv bei isolierter Betrachtung des M. latissimus dorsi (LD)

4 Patienten (27 %) hatten ein positives Außenrotations-Lag-Zeichen und bei 3 Patienten (20 %) bestand ein positives Hornblower-Zeichen.

Die Gesamtpunktzahl des Constant-Murley Score lag bei durchschnittlich 69 Punkten (49 – 80 P).

Die Goutallier Einteilung ergab einen Durchschnittswert von 0,9. Die SNR war 18,9 (6,5 - 51,2) und die SSR 1,3 (0,3 - 3,4) (**Tab. 6**).

	mean (range)
SNR	18,9 (6,5 – 51,2)
Klassifikation n. Goutallier (Stadium)	0,9

**Tab. 6** Signal-to-Noise Ratio (SNR) und fettige Degeneration in Gruppe A<sub>LD</sub>.

In Gruppe B<sub>LD</sub> (11 Patienten) (**Tab. 5**) lag die aktive Außenrotation im Durchschnitt bei 16° (-10° - 60°). Die mittlere aktive Abduktion und Flexion betrugen 180°.

Das Außenrotations-Lag-Zeichen war bei 3 Patienten (27 %) positiv, bei 3 Patienten (27 %) bestand ein positives Hornblower-Zeichen.

Die durchschnittliche Gesamtpunktzahl des Constant-Murley Score war 74 Punkte (59 – 82 P). Der Durchschnittswert der Goutallier Einteilung lag bei 3,8. Die SNR war 48,1 (31,4 - 70,3) und SSR 2,9 (0,1 - 4,4) (**Tab. 7**).

	mean (range)
SNR	48,1 (31,4 – 70,3)
Klassifikation n. Goutallier (Stadium)	3,8

**Tab. 7** Signal-to-Noise Ratio (SNR) und fettige Degeneration in Gruppe B<sub>LD</sub>.

Zwischen Gruppe A<sub>LD</sub> und Gruppe B<sub>LD</sub> bestand ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der aktiven Flexion (180° vs. 173°; p = 0,04) und Abduktion (180° vs. 166°; p = 0,04). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe A<sub>LD</sub> und Gruppe B<sub>LD</sub> im Constant-Murley Score, der aktiven Außenrotation, sowie der Häufigkeit eines positiven ARO-Lag-Zeichens und positiven Hornblower-Zeichens.

Die errechneten Werte für die Signalintensitäten des M. latissimus dorsi wiesen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen auf. Entsprechend waren die SNR (18,9 vs. 48,1; p = 0,02) und SSR (1,3 vs. 2,9; p = 0,02) in Gruppe A<sub>LD</sub> niedriger als in Gruppe B<sub>LD</sub>.



Es zeigte sich eine hoch signifikante Korrelation zwischen der SNR ( $r = 0,62$ ;  $p < 0,001$ ) und der fettigen Degeneration des M. latissimus dorsi nach der Goutallier Klassifikation.

#### 5.4 Gruppe A<sub>TM</sub> und Gruppe B<sub>TM</sub>

In Gruppe A<sub>TM</sub> (20 Patienten) (**Tab. 8**) lag die mittlere aktive Außenrotation bei 33° (0° - 70°). Die mittlere aktive Abduktion war 157° (80° - 180°) und die mittlere aktive Flexion 169° (100° - 180°).

	Gruppe A <sub>TM</sub>	Gruppe B <sub>TM</sub>
Anzahl (n)	20	6
Alter (Jahre)	66 (53 - 76)	64 (56 - 70)
weiblich / männlich	8 / 12	2 / 4
Nachuntersuchungs- zeitraum (Monate)	44 (29 - 77)	44 (29 - 79)

**Tab. 8** Patientenkollektiv bei isolierter Betrachtung des M. teres minor (TM).

8 Patienten (40 %) hatten ein positives Außenrotations-Lag-Zeichen. Das Hornblower-Zeichen war bei 5 Patienten (25 %) positiv.

Die mittlere Gesamtpunktzahl des Constant-Murley Score ergab 68 Punkte (49 - 81 P).

Die Goutallier Einteilung zeigte einen Durchschnittswert von 1,1. Die mittlere SNR lag bei 24,8 (10,3 - 59,1) und die SSR bei 1,7 (0,8 - 4,3) (**Tab. 9**).

	mean (range)
SNR	24,8 (10,3 – 59,1)
Klassifikation n. Goutallier (Stadium)	1,1

**Tab. 9** Signal-to-Noise (SNR) und fettige Degeneration in Gruppe A<sub>TM</sub>.

In Gruppe B<sub>TM</sub> (6 Patienten) (**Tab. 8**) zeigte sich eine mittlere aktive Außenrotation von 2° (-10° - 20°), die mittlere aktive Abduktion war 178° (170° - 180°) und die mittlere aktive Flexion 178° (170° - 180°).

4 Patienten (67 %) zeigten ein positives Außenrotations-Lag-Zeichen, bei 4 Patienten (67 %) war das Hornblower-Zeichen positiv.

Die Gesamtpunktzahl des Constant-Murley Score betrug durchschnittlich 72 Punkte (59 - 82 P).

Die Goutallier Einteilung lag im Durchschnitt bei 3,7. Die mittlere SNR war 42,3 (25,9 - 69,1), die SSR 2,7 (0,7 - 5,2) (**Tab. 10**).

	mean (range)
SNR	42,3 (25,9 – 69,1)
Klassifikation n. Goutallier (Stadium)	3,7

**Tab. 10** Signal-to-Noise (SNR) und fettige Degeneration in Gruppe B<sub>TM</sub>.

In Gruppe B<sub>TM</sub> mit fortgeschrittener fettiger Degeneration des M. teres minor war die aktive Außenrotation signifikant geringer als in Gruppe A<sub>TM</sub> (2° vs. 33°; p = 0,01).

Kein signifikanter Unterschied bestand in der Gesamtpunktzahl des Constant-Murley Score, der aktiven Flexion und Abduktion, sowie der Häufigkeit eines positiven ARO-Lag-Zeichens und positiven Hornblower-Zeichens.

Die errechnete SNR war in Gruppe A<sub>TM</sub> signifikant niedriger als in Gruppe B<sub>TM</sub> (24,8 vs. 42,3; p = 0,01), wobei eine signifikante Korrelation mit der Goutallier Klassifikation bestand (r = 0,492, p = 0,01).

## **Komplikationen**

Wundinfektionen oder Nervenläsionen traten nicht auf. Bei einem Patienten bestand eine nicht revisionspflichtige Reruptur der transferierten Sehne des M. latissimus dorsi, weswegen dieser aus der Studie ausgeschlossen wurde.

## 6.0 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass Patienten nach Latissimus dorsi Transfer in „single-incision-technique“ n. Habermeyer/Herzberg mit fortgeschrittener fettiger Infiltration ( $\geq 50\%$ ) des M. latissimus dorsi, eine signifikant geringere Flexion und Abduktion aufweisen, wohingegen eine höhergradige Degeneration des M. teres minor einen negativen Effekt auf die Außenrotationsfähigkeit hat. Es lässt sich außerdem bestätigen, dass die SNR zur semiquantitativen Bestimmung der muskulären Degeneration herangezogen werden kann.

Unsere Hypothese, dass eine höhergradige Degeneration des M. latissimus dorsi mit einem schlechteren klinischen Ergebnis einhergeht, hat damit zumindest für die Flexion und Abduktion Gültigkeit.

Massive, nicht rekonstruierbare Rotatorenmanschettenrupturen stellen insbesondere beim jungen und aktiven Patienten eine therapeutische Herausforderung dar. Die Begriffsprägung ist auf Cofield und Gerber zurückzuführen und bezeichnet Verletzungen der Rotatorenmanschette, die einen Durchmesser von über 5 cm aufweisen oder mindestens 2 Sehnen einschließen.<sup>97, 98</sup> Posterosuperiore Rupturen (Supraspinatus- und Infraspinatussehne) zeigen hierbei die höchste Inzidenz.<sup>99</sup> Durch den Latissimus dorsi Transfer lässt sich bei diesen Patienten eine funktionelle Verbesserung sowie eine Schmerzreduktion erreichen, sofern keine Degenerationen am glenohumeralen Gelenk vorliegen.<sup>54</sup>

Für den Latissimus dorsi Transfer in der von Gerber beschriebenen Technik liegen umfangreichen Daten, das postoperative Ergebnis betreffend, vor. Costouros et al. zeigten in einer retrospektiven Studie unter Einschluss von 22 Patienten und einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 34 Monaten eine postoperative Verbesserung des Constant-Murley Score um 16 Punkte (56/72 P).<sup>19</sup> Die Elevation betrug  $134^\circ$  ( $117^\circ$ ), die Abduktion  $123^\circ$  ( $103^\circ$ ) und die Außenrotation  $30^\circ$  ( $16^\circ$ ).

Vergleichbare Ergebnisse lieferten auch Gerber et al., der Constant-Murley Score lag bei 73 Punkten, die Elevation und Abduktion betrugen  $135^\circ$  bzw.  $122^\circ$ , die Außenrotation verbesserte

sich um 14°. <sup>8</sup> Nach einem Nachuntersuchungszeitraum von 53 Monaten zeigte sich ein Anstieg im Constant-Murley Score auf 60 Punkte (46 P). Die Elevation verbesserte sich auf 123° (104°), die Abduktion auf 119° (101°) und die Außenrotation auf 29° (22°). <sup>9</sup>

Iannotti et al. führten eine Nachuntersuchung an 20 Patienten nach durchschnittlich 39 Monaten durch. Es zeigte sich eine Steigerung der Elevation von 100° auf 119° und der Außenrotation von 23° auf 32°. <sup>10</sup>

Moursy et al. beschrieben an 30 Patienten und einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 34 Monaten eine Verbesserung im Constant-Murley Score von 41,9 auf 69,3 Punkte. Die Elevation betrug 143° (105°) und die Außenrotation 30° (14°). <sup>11</sup>

Die guten bis exzellenten mittelfristigen Ergebnisse zeigen sich auch im Langzeitverlauf.

In einer retrospektiven Studie, mit einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 9,3 Jahren wurden 86 Patienten (93 Schultern) erfasst. Diese zeigten eine Verbesserung im Constant-Murley Score von 44 % auf 71 %. <sup>71</sup>

Gerber et al. konnten nach 12,3 Jahren einen Anstieg des relativen Constant-Murley Score auf 80 % (55 %) nachweisen. Die Flexion verbesserte sich auf 132° (118°), die Abduktion auf 123° (112°) und die Außenrotation auf 33° (18°). Auch zeigte sich eine signifikante Zunahme der Abduktionskraft von 1,2 auf 2,0 kg. <sup>70</sup>

In einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum zeigen unsere Ergebnisse nach Latissimus dorsi Transfer in der Modifikation n. Habermeyer/ Herzberg eine signifikante Verbesserung im Constant-Murley Score von 43 % auf 69 %. Die Flexion verbesserte sich signifikant auf 170° (131°) und die Abduktion auf 163° (118°). Außenrotation und Abduktionskraft zeigten hingegen keinen Unterschied.

Ungeachtet der überzeugenden funktionellen Resultate, ist die Frage nach den prädiktiven Faktoren nicht eindeutig geklärt.

Buchmann et al. verglichen in einer matched-pair Analyse die Ergebnisse nach Latissimus dorsi Transfer als Primär- bzw. Revisionseingriff. <sup>100</sup> Sie konnten zwischen den beiden Gruppen

keinen Unterschied hinsichtlich aktivem Bewegungsumfang und Schmerzreduktion nachweisen. In den Revisionsfällen zeigte sich jedoch ein signifikant niedrigerer alters- und geschlechtsspezifischer Constant-Murley Score sowie eine höhere Inzidenz für ein positives Hornblower-Zeichen.

In einer Studie von Miniaci und MacLeod erhielten 17 Patienten nach fehlgeschlagener Rekonstruktion einer Massentraktur einen Latissimus dorsi Transfer.<sup>101</sup> Nach durchschnittlich 51 Monaten zeigten 14 Patienten eine signifikante Schmerzreduktion und funktionelle Verbesserung, ausgenommen war das Seitheben mit Gewichten über 6,8 kg.

Hingegen fanden Warner und Parsons einen signifikant geringeren Anstieg im Constant-Murley Score bei den Revisionseingriffen (55 %) gegenüber dem Latissimus dorsi Transfer als Primärversorgung (70 %).<sup>15</sup> Eine schlechte Sehnenqualität mit höhergradiger fettiger Degeneration und die Ablösung des M. deltoideus konnten als weitere Einflussfaktoren abgegrenzt werden. Auch lag die Rerupturrate der transferierten Sehne in der Revisionsgruppe mit 44 % vs. 14 % deutlich höher. Dass die Integrität der Subscapularissehne einen relevanten prognostischen Faktor darstellt, konnte anhand mehrerer Studien belegt werden.<sup>8, 9, 69</sup>

Gerber wies nach Latissimus dorsi Transfer mit nicht rekonstruierter Subscapularissehne, ein um nahezu 50 % schlechteres Ergebnis im alters- und geschlechtsspezifischen Constant-Murley Score (82 % vs. 48 %) nach.<sup>8</sup>

In einer weiteren Studie aus dieser Arbeitsgruppe zeigten Patienten mit negativem Lift-off Test eine signifikante Verbesserung des funktionellen Ergebnisses, Schmerzreduktion, sowie eine Verdoppelung der Kraftleistung. Hingegen kam es bei insuffizienter Subscapularissehne zu keiner Verbesserung dieser Parameter.

Die Autoren schlussfolgerten, dass bei nicht rekonstruierbarer Subscapularissehne der Latissimus dorsi Transfer nicht zu empfehlen ist.<sup>9</sup>

In unserem Patientenkollektiv zeigte sich die Subscapularissehne präoperativ in allen Fällen klinisch und MR-tomographisch intakt. Auch postoperativ war keine höhergradige fettige Degeneration nachweislich (Stadium 0 - 1 n. Goutallier).

Während der Subscapularis einen bedeutenden Einfluss auf das postoperative Ergebnis nimmt, bleibt weitgehend unklar, wie sich die strukturelle Integrität und fettige Degeneration des M. teres minor auswirken.

Keating et al. untersuchten in einer Kadaverstudie das Kräfteverhältnis der vier Muskeln der Rotatorenmanschette.<sup>102</sup> Dabei war der Supraspinatus nur für 14 % des gesamten Kraftmomentes verantwortlich, verglichen mit dem Subscapularis (53 %) und Infraspinatus/Teres minor (32 %).

Gerber et al. beschrieben den Effekt der selektiven N. suprascapularis-Blockade auf die Abduktions- und Außenrotationskraft. Sie konnten zeigen, dass der M. supraspinatus nur mit 10 % in den Kraftmoment der Außenrotation bzw. 30 % der Abduktion eingeht.<sup>43</sup>

Zwar weist der M. teres minor nur eine geringe physiologische Querschnittsfläche auf, wodurch die potentielle Kraftentfaltung gegenüber den drei anderen Muskeln der Rotatorenmanschette relativ gering ist. Gleichzeitig verfügt er jedoch über das höchste Dehnungspotential. Ein intakter Teres minor kann daher unter Umständen die Effektivität des Latissimus dorsi Transfer in Außenrotation verbessern.<sup>58</sup>

Costouros et al. verglichen die funktionellen Ergebnisse nach Latissimus dorsi Transfer in Abhängigkeit von der fettigen Infiltration des M. teres minor im MRT.<sup>19</sup> Unter den 22 nachuntersuchten Patienten zeigten fünf das Stadium 0 n. Goutallier, sechs Stadium 1, vier Stadium 2, sechs Stadium 3 sowie ein Patient Stadium 4. 11 Patienten (50 %) wiesen eine Partialruptur der Teres minor Sehne auf, in zwei Fällen (9 %) bestand eine komplette Ruptur. Eine fettige Infiltration über Stadium 2 n. Goutallier war mit einem niedrigeren präoperativen und postoperativen Constant-Murley Score, sowie einer geringeren aktiven Außenrotation und Elevation vergesellschaftet.

Der Einfluss der fettigen Infiltration des M. teres minor auf die Resultate im Constant-Murley Score und die aktive Außenrotation wurde auch von anderen Autoren beschrieben.<sup>11, 70, 103</sup>

Wir konnten im Rahmen unserer Studie zumindest teilweise vergleichbare Ergebnisse nachweisen. So zeigten Patienten mit einer fettigen Infiltration des M. teres minor  $\geq 50\%$  (Stadium 3 und 4 n. Goutallier) eine signifikant schlechtere Außenrotationsfähigkeit ( $2^\circ$  vs.  $33^\circ$ ).

Dies führt wieder auf die Frage zurück, ob das gute funktionelle Ergebnis nach Latissimus dorsi Transfer auf synergistische, aktive Muskelkontraktionen oder den Tenodese-Effekt zurückzuführen ist.<sup>8, 9, 67-69</sup>

De Groot et al. führten 12 Monate postoperativ elektromyographische Untersuchungen transferierten M. latissimus dorsi bei isometrischer Abduktion und Außenrotation durch.<sup>22</sup> Sie konnten dabei in beiden Bewegungsrichtungen synergistische Muskelaktivitäten nachweisen. Dies Ergebnis konnte auch von De Casas et al. in deren Patientengut bestätigt werden.<sup>21</sup>

Buchmann et al. unterschieden entsprechend den Ergebnissen im ASES und UCLA Score zwei Gruppen (excellent/good vs. fair/poor).<sup>20</sup> Die Gruppe mit guten und sehr guten Ergebnissen verlor durch Koaktivierung an aktiver Außenrotation, während die Gruppe mit den schlechten Resultaten hinzugewann. Bei Letzteren zeigte der Latissimus dorsi außerdem im Elektromyogramm ein höheres Aktivitätsverhältnis. Die Autoren schlussfolgerten, dass in diesen Fällen ein inadäquater Prozess des motorischen Umlernens stattgefunden hatte.

In unseren Daten zeigten Patienten mit höhergradiger Degeneration ( $\geq 50\%$ ) der transferierten Latissimus dorsi Sehne eine signifikant geringere Flexion und Abduktion gegenüber der Vergleichsgruppe. Dies lässt vermuten, dass die muskuläre Integrität des Latissimus dorsi einen Einfluss auf die Depressorfunktion und Elevationsfähigkeit hat.

Die im Rahmen dieser Studie angewandte fünfstufige, deskriptive Beurteilung der Muskelverfettung wurde erstmalig von Goutallier et al. für die Computertomographie beschrieben.<sup>86</sup> Obwohl Fuchs et al. nur eine geringe Korrelation bezüglich der Klassifikation



der muskulären Verfettung zwischen CT und MRT nachwiesen, wurde die MR-tomographische Untersuchung zur Beurteilung von eben dieser durch zahlreichen Autoren beschrieben.<sup>97, 104-112</sup>

Hierzu konnten Schiefer et al. in einer aktuelleren Studie eine hochsignifikante inter- und intraobserver Reliabilität bei Anwendung der Goutallier Klassifikation im MRT nachweisen.<sup>113</sup>

Postoperative MRT-Untersuchungen des transferierten M. latissimus dorsi wurden bisher nur von Iannotti et al. durchgeführt.<sup>10</sup> Beurteilt wurden der Muskelquerschnitt und die fettige Infiltration im Seitenvergleich. Es wurde ein identisches Muskelvolumen beobachtet, nur ein Patient zeigte eine erstgradige fettige Infiltration auf der operierten Seite.

Die quantitative Berechnung der Muskeltrophizität ist mit vergleichsweise aufwendigen Techniken wie der Magnetresonanztomographie, der fettselektiven MRT oder der 2D-SPLASH-Spektroskopie möglich.<sup>107, 110, 114-116</sup> Dadurch bedingt ist eine Relevanz im klinischen Alltag nicht gegeben. Bereits 2006 beschrieben Schröder et al. daher die Signalintensitätsanalyse zur Bestimmung der muskulären Verfettung.<sup>93</sup> In einer retrospektiven Kohortenstudie wurden 25 Patienten nach Refixation der Subscapularissehne MR-tomographisch nachuntersucht. Die SNR wurde berechnet, hierbei konnten signifikante Signalunterschiede zwischen Subscapularis- und Infraspinatussehne dargestellt werden.

In einer aktuellen Studie konnten Gerhardt et al. eine signifikante Korrelation zwischen der Klassifikation n. Goutallier und der Signalintensitätsanalyse für den M. supraspinatus und M. infraspinatus nachweisen.<sup>117</sup> Beide Autoren schlussfolgerten, dass die Bestimmung der SNR eine einfache und wenig aufwändige Methode zur semiquantitativen Beurteilung der Muskelverfettung darstellt.

Wir kommen anhand unserer Daten zu einem vergleichbaren Ergebnis. So wurde bei Patienten mit einer fettigen Infiltration des Muskels (M. latissimus dorsi, M. teres minor)  $\geq 50\%$  eine signifikant höhere SNR errechnet, als bei geringgradigem Fettanteil ( $< 50\%$ ). Die errechnete Signalintensität zeigte hierbei eine signifikante Korrelation mit der Klassifikation n. Goutallier.

Die Studie hat Limitationen. (1) Es handelt sich um eine retrospektive Analyse. (2) Die Inter- und Intraraterreliabilität der Goutallier Klassifikation wurde nicht bestimmt. (3) Die Größe des Patientenkollektivs lässt keine Aussage zu, wie eine geringgradige bzw. höhergradiger fettige Degeneration des M. latissimus dorsi in Kombination mit einer geringgradigen bzw. höhergradigen fettigen Degeneration des M. teres major die Funktion nach Sehnentransfer beeinflussen.

## **7.0 Schlussfolgerung**

Der Latissimus dorsi Transfer in „single-incision-technique“ n. Habermeyer/Herzberg führt bei Patienten mit nicht rekonstruierbarer posterosuperiorer Rotatorenmanschettenruptur zu einer Verbesserung der aktiven Flexion und Abduktion.

Patienten mit fortgeschrittener fettiger Degeneration ( $\geq 50\%$ ) des M. latissimus dorsi weisen eine geringere Flexion und Abduktion auf, wohingegen eine höhergradige Degeneration des M. teres minor einen negativen Effekt auf die Außenrotationsfähigkeit hat.

Die SNR kann zur semiquantitativen Bestimmung der muskulären Degeneration herangezogen werden.

## 8.0 Zusammenfassung

Die Indikation zum Latissimus dorsi Transfer besteht bei nicht rekonstruierbaren Rupturen der posterosuperioren Rotatorenmanschette mit Verlust der aktiven Beweglichkeit und Kraftreduktion.

Ziel dieser Untersuchung war die Beurteilung und Quantifizierung der fettigen Degeneration des M. latissimus dorsi und M. teres minor nach Latissimus dorsi Transfer in „single-incision-technique“ n. Habermeyer/Herzberg anhand der Signal-to-Noise-Ratio (SNR) sowie deren Korrelation mit den funktionellen Parametern.

Die Hypothese war, dass eine höhergradige Degeneration des M. latissimus dorsi nach Transfer mit einem schlechteren klinischen Outcome einhergeht.

Die retrospektive Studie umfasste Patienten mit nicht rekonstruierbaren Rupturen der Supraspinatus- und Infraspinatussehne, die zwischen 2001 und 2007 mittels Latissimus dorsi Transfer in „single-incision-technique“ n. Habermeyer/Herzberg versorgt wurden.

Die Patienten wurden klinischen und kernspintomographisch nachuntersucht, und der Constant-Murley Score wurde erhoben.

Die Signalintensität wurden in parasagittalen T1 gewichteten Spinechosequenzen in der „Y-Schnittposition“ gemessen. 3 Regions of Interest ( $16 \text{ mm}^2$ ) wurden im kranialen, mittleren und kaudalen M. latissimus dorsi, M. teres minor und M. subscapularis, sowie im Artefakt freien Hintergrund positioniert. Die SNR und die Signal-to-Signal Ratio (SSR) wurden berechnet. Als Referenzmuskel zur Berechnung der SSR diente der M. trizeps brachii caput longum.

Die deskriptive Beurteilung der fettigen Degeneration der Muskulatur erfolgte anhand der Klassifikation n. Goutallier, wobei zwei Gruppen (A: Goutallier Stadium 0 - 2; B: Stadium 3 und 4) unterschieden wurden.

27 Patienten (männlich: 16, weiblich: 10), in einem Durchschnittsalter von  $65,3 \pm 5,4$  Jahren wurden nachuntersucht. Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum lag bei  $46,3 \pm 16,3$  Monaten.

Es zeigte sich eine signifikante Verbesserung der mittleren aktiven Abduktion (präop./postop. 118°/163;  $p = 0,001$ ) und Flexion (131°/170°;  $p = 0,001$ ). Die mittlere aktive Außenrotation ergab keinen signifikanten Unterschied (26°/23°). Das Droparm-Zeichen war in allen Fällen negativ. Bei 12 Patienten (46 %) zeigte sich ein positives Außenrotations-Lag-Zeichen. Das Hornblower-Zeichen war bei neun Patienten (35 %) positiv.

Die mittlere Gesamtpunktzahl des Constant-Murley Score verbesserte sich signifikant von präoperativ 43 Punkte auf postoperativ 69 Punkte ( $p < 0,001$ ). In den Teilbereichen „Schmerz“, „Alltagsaktivitäten“ und „Bewegungsumfang“ zeigte sich jeweils eine signifikante Verbesserung gegenüber den präoperativen Ergebnissen ( $p < .001$ ), wobei im Teilbereich „Kraft“ kein Unterschied bestand.

Es bestand eine signifikante Korrelation zwischen der fettigen Degeneration des M. teres minor und der aktiven Außenrotationsfähigkeit ( $r = 0,5$ ;  $p = 0,01$ ), sowie dem Außenrotations-Lag-Zeichen ( $r = 0,52$ ;  $p = 0,01$ ).

Zwischen Gruppe A<sub>LD</sub> (fettige Degeneration < 50%) und Gruppe B<sub>LD</sub> ( $\geq 50\%$ ) bestand ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der mittleren aktiven Flexion (180° vs. 173°;  $p = 0,04$ ) und Abduktion (180° vs. 166°;  $p = 0,04$ ), aber nicht der aktiven Außenrotation und des Constant-Murley Score. Die SNR (18,9 vs. 48,1;  $p = 0,02$ ) und SSR (1,3 vs. 2,9;  $p = 0,02$ ) war in Gruppe A<sub>LD</sub> signifikant niedriger als in Gruppe B<sub>LD</sub>. Es bestand eine statistische Korrelation zwischen der SNR ( $r = 0,62$ ;  $p < 0,001$ ) und der fettigen Degeneration des M. latissimus dorsi. In Gruppe B<sub>TM</sub> ( $\geq 50\%$ ) war die aktive Außenrotation signifikant geringer als in Gruppe A<sub>TM</sub> (2° vs. 33°;  $p = 0,01$ ). Die errechnete SNR war in Gruppe A<sub>TM</sub> signifikant geringer als in Gruppe B<sub>TM</sub> (24,8 vs. 42,3;  $p = 0,01$ ) und es lag eine Korrelation mit der Goutallier Klassifikation vor ( $r = 0,492$ ,  $p = 0,01$ ).

Die Ergebnisse zeigen, dass Patienten mit fortgeschrittener fettiger Infiltration ( $\geq 50\%$ ) des M. latissimus dorsi eine signifikant geringere Flexion und Abduktion aufweisen, wohingegen eine

höhergradige Degeneration des M. teres minor einen negativen Effekt auf die Außenrotationsfähigkeit hat.

Es lässt sich außerdem bestätigen, dass die SNR zur semiquantitativen Bestimmung der muskulären Degeneration herangezogen werden kann.

## 9.0 Literatur

1. Habermeyer P. Bildarchiv. Anatomie der Rotatorenmanschette.
2. Scheiderer B. Latissimus-dorsi-Transfer. *Arthroskopie*. 2017;30:246-250.
3. Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P. *Schulterchirurgie*. München: Urban & Fischer; 2010.
4. DVSE. Untersuchungstechniken des Schultergelenks. *Obere Extremität*. 2012;Band 7, Supplement 1.
5. Habermeyer P, Magosch P, Lichtenberg S. *Classifications and Scores of the shoulder*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2006.
6. L'Episcopo JB. Tendon transplantation in obstetrical paralysis. *Am J Surg*. 1934;25:122-125.
7. Gerber C, Vinh TS, Hertel R, Hess CW. Latissimus dorsi transfer for the treatment of massive tears of the rotator cuff. A preliminary report. *Clinical orthopaedics and related research*. 1988;51-61.
8. Gerber C. Latissimus dorsi transfer for the treatment of irreparable tears of the rotator cuff. *Clinical orthopaedics and related research*. 1992;152-160.
9. Gerber C, Maquieira G, Espinosa N. Latissimus dorsi transfer for the treatment of irreparable rotator cuff tears. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 2006;88:113-120.
10. Iannotti JP, Hennigan S, Herzog R, et al. Latissimus dorsi tendon transfer for irreparable posterosuperior rotator cuff tears. Factors affecting outcome. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 2006;88:342-348.
11. Moursy M, Forstner R, Koller H, Resch H, Tauber M. Latissimus dorsi tendon transfer for irreparable rotator cuff tears: a modified technique to improve tendon transfer integrity. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91:1924-1931.
12. Burkhart SS. Reconciling the paradox of rotator cuff repair versus debridement: a unified biomechanical rationale for the treatment of rotator cuff tears. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 1994;10:4-19.
13. Herzberg G, Schoirer O, Berthonnaud E, Medda N, Dimnet J. 3D modelization of latissimus dorsi transfer in rotator cuff surgery: What point of fixation on the humeral head? . In: *SECEC closed meeting*. Windsor, UK2001.
14. Habermeyer P, Magosch P, Rudolph T, Lichtenberg S, Liem D. Transfer of the tendon of latissimus dorsi for the treatment of massive tears of the rotator cuff: a new single-incision technique. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*. 2006;88:208-212.
15. Warner JJ, Parsons IM. Latissimus dorsi tendon transfer: a comparative analysis of primary and salvage reconstruction of massive, irreparable rotator cuff tears. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2001;10:514-521.
16. Buijze GA, Keereweer S, Jennings G, Vorster W, Debeer J. Musculotendinous transfer as a treatment option for irreparable posterosuperior rotator cuff tears: teres major or latissimus dorsi? *Clinical anatomy*. 2007;20:919-923.
17. Lichtenberg S, Magosch P, Habermeyer P. Are there advantages of the combined latissimus-dorsi transfer according to L'Episcopo compared to the isolated latissimus-dorsi transfer according to Herzberg after a mean follow-up of 6 years? A matched-pair analysis. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2012;21:1499-1507.

18. Irlenbusch U, Bendsdorf M, Gansen HK, Lorenz U. [Latissimus dorsi transfer in case of irreparable rotator cuff tear--a comparative analysis of primary and failed rotator cuff surgery, in dependence of deficiency grade and additional lesions]. *Zeitschrift fur Orthopadie und ihre Grenzgebiete*. 2003;141:650-656.
19. Costouros JG, Espinosa N, Schmid MR, Gerber C. Teres minor integrity predicts outcome of latissimus dorsi tendon transfer for irreparable rotator cuff tears. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2007;16:727-734.
20. Plath JE, Seiberl W, Beitzel K, et al. Electromyographic activity after latissimus dorsi transfer: testing of coactivation as a simple tool to assess latissimus dorsi motor learning. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2014;23:1162-1170.
21. De Casas R, Lois M, Cidoncha M, Valadron M. Clinic and electromyographic results of latissimus dorsi transfer for irreparable posterosuperior rotator cuff tears. *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2014;9:83.
22. Henseler JF, Nagels J, Nelissen RG, de Groot JH. Does the latissimus dorsi tendon transfer for massive rotator cuff tears remain active postoperatively and restore active external rotation? *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2014;23:553-560.
23. Rockwood CA, Matsen FA. *The Shoulder 4th ed*. Philadelphia, PA 19103-2899: Saunders Elsevier; 2009.
24. Boileau P, Walch G. The three-dimensional geometry of the proximal humerus. Implications for surgical technique and prosthetic design. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*. 1997;79:857-865.
25. Tillett E, Smith M, Fulcher M, Shanklin J. Anatomic determination of humeral head retroversion: The relationship of the central axis of the humeral head to the bicipital groove. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 1993;2:255-256.
26. Iannotti JP, Gabriel JP, Schneck SL, Evans BG, Misra S. The normal glenohumeral relationships. An anatomical study of one hundred and forty shoulders. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 1992;74:491-500.
27. Hsu JE, Ricchetti ET, Huffman GR, Iannotti JP, Glaser DL. Addressing glenoid bone deficiency and asymmetric posterior erosion in shoulder arthroplasty. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2013;22:1298-1308.
28. Mihata T, McGarry MH, Pirolo JM, Kinoshita M, Lee TQ. Superior capsule reconstruction to restore superior stability in irreparable rotator cuff tears: a biomechanical cadaveric study. *The American journal of sports medicine*. 2012;40:2248-2255.
29. Mihata T, McGarry MH, Kahn T, Goldberg I, Neo M, Lee TQ. Biomechanical Effect of Thickness and Tension of Fascia Lata Graft on Glenohumeral Stability for Superior Capsule Reconstruction in Irreparable Supraspinatus Tears. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2016;32:418-426.
30. Nimura A, Kato A, Yamaguchi K, et al. The superior capsule of the shoulder joint complements the insertion of the rotator cuff. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2012;21:867-872.
31. Steinbeck J, Liljenqvist U, Jerosch J. The anatomy of the glenohumeral ligamentous complex and its contribution to anterior shoulder stability. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 1998;7:122-126.



32. Kask K, Poldoja E, Lont T, et al. Anatomy of the superior glenohumeral ligament. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2010;19:908-916.
33. Warner JJ, Deng XH, Warren RF, Torzilli PA. Static capsuloligamentous restraints to superior-inferior translation of the glenohumeral joint. *The American journal of sports medicine*. 1992;20:675-685.
34. Arai R, Mochizuki T, Yamaguchi K, et al. Functional anatomy of the superior glenohumeral and coracohumeral ligaments and the subscapularis tendon in view of stabilization of the long head of the biceps tendon. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2010;19:58-64.
35. Imhoff AB, Ticker JB, Fu FH. *Atlas of Shoulder Arthroscopy*. London 2003.
36. Burkart AC, Debski RE. Anatomy and function of the glenohumeral ligaments in anterior shoulder instability. *Clinical orthopaedics and related research*. 2002;32-39.
37. Ticker JB, Bigliani LU, Soslowsky LJ, Pawluk RJ, Flatow EL, Mow VC. Inferior glenohumeral ligament: geometric and strain-rate dependent properties. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 1996;5:269-279.
38. Cooper DE, Arnoczky SP, O'Brien SJ, Warren RF, DiCarlo E, Allen AA. Anatomy, histology, and vascularity of the glenoid labrum. An anatomical study. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 1992;74:46-52.
39. Eberly VC, McMahon PJ, Lee TQ. Variation in the glenoid origin of the anteroinferior glenohumeral capsulolabrum. *Clinical orthopaedics and related research*. 2002;26-31.
40. Uhthoff HK, Piscopo M. Anterior capsular redundancy of the shoulder: congenital or traumatic? An embryological study. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*. 1985;67:363-366.
41. Pouliart N, Gagey O. Reconciling arthroscopic and anatomic morphology of the humeral insertion of the inferior glenohumeral ligament. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2005;21:979-984.
42. Sugalski MT, Wiater JM, Levine WN, Bigliani LU. An anatomic study of the humeral insertion of the inferior glenohumeral capsule. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2005;14:91-95.
43. Gerber C, Blumenthal S, Curt A, Werner CM. Effect of selective experimental suprascapular nerve block on abduction and external rotation strength of the shoulder. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2007;16:815-820.
44. Kang JR, Gupta R. Mechanisms of fatty degeneration in massive rotator cuff tears. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2012;21:175-180.
45. Jamali AA, Afshar P, Abrams RA, Lieber RL. Skeletal muscle response to tenotomy. *Muscle Nerve*. 2000;23:851-862.
46. Baker JH, Hall-Craggs EC. Changes in sarcomere length following tenotomy in the rat. *Muscle Nerve*. 1980;3:413-416.
47. Safran O, Derwin KA, Powell K, Iannotti JP. Changes in rotator cuff muscle volume, fat content, and passive mechanics after chronic detachment in a canine model. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 2005;87:2662-2670.
48. Nakagaki K, Ozaki J, Tomita Y, Tamai S. Fatty degeneration in the supraspinatus muscle after rotator cuff tear. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 1996;5:194-200.

49. Meyer DC, Hoppeler H, von Rechenberg B, Gerber C. A pathomechanical concept explains muscle loss and fatty muscular changes following surgical tendon release. *J Orthop Res*. 2004;22:1004-1007.
50. Khair MM, Lehman J, Tsouris N, Gulotta LV. A Systematic Review of Preoperative Fatty Infiltration and Rotator Cuff Outcomes. *HSS J*. 2016;12:170-176.
51. Yoo JC, Ahn JH, Yang JH, Koh KH, Choi SH, Yoon YC. Correlation of arthroscopic repairability of large to massive rotator cuff tears with preoperative magnetic resonance imaging scans. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 2009;25:573-582.
52. Sugihara T, Nakagawa T, Tsuchiya M, Ishizuki M. Prediction of primary reparability of massive tears of the rotator cuff on preoperative magnetic resonance imaging. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2003;12:222-225.
53. Werner CM, Ruckstuhl T, Muller R, Zanetti M, Gerber C. Influence of psychomotor skills and innervation patterns on results of latissimus dorsi tendon transfer for irreparable rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg*. 2008;17:22S-28S.
54. Longo UG, Franceschetti E, Petrillo S, Maffulli N, Denaro V. Latissimus dorsi tendon transfer for massive irreparable rotator cuff tears: a systematic review. *Sports Med Arthrosc*. 2011;19:428-437.
55. Debeer P, De Smet L. Outcome of latissimus dorsi transfer for irreparable rotator cuff tears. *Acta Orthop Belg*. 2010;76:449-455.
56. Werner CM, Zingg PO, Lie D, Jacob HA, Gerber C. The biomechanical role of the subscapularis in latissimus dorsi transfer for the treatment of irreparable rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg*. 2006;15:736-742.
57. Buchmann S, Plath JE, Imhoff AB. [Latissimus dorsi transfer for the treatment of irreparable rotator tears: indication, surgical technique, and modifications]. *Oper Orthop Traumatol*. 2012;24:502-512.
58. Herzberg G, Urien JP, Dimnet J. Potential excursion and relative tension of muscles in the shoulder girdle: relevance to tendon transfers. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 1999;8:430-437.
59. Goldberg BA, Elhassan B, Marciniak S, Dunn JH. Surgical anatomy of latissimus dorsi muscle in transfers about the shoulder. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2009;38:E64-67.
60. Pearle AD, Kelly BT, Voos JE, Chehab EL, Warren RF. Surgical technique and anatomic study of latissimus dorsi and teres major transfers. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88:1524-1531.
61. Cleeman E, Hazrati Y, Auerbach JD, Shubin Stein K, Hausman M, Flatow EL. Latissimus dorsi tendon transfer for massive rotator cuff tears: a cadaveric study. *J Shoulder Elbow Surg*. 2003;12:539-543.
62. Henry PD, Dwyer T, McKee MD, Schemitsch EH. Latissimus dorsi tendon transfer for irreparable tears of the rotator cuff: An anatomical study to assess the neurovascular hazards and ways of improving tendon excursion. *Bone Joint J*. 2013;95-B:517-522.
63. Oh JH, Tilan J, Chen YJ, Chung KC, McGarry MH, Lee TQ. Biomechanical effect of latissimus dorsi tendon transfer for irreparable massive cuff tear. *J Shoulder Elbow Surg*. 2013;22:150-157.
64. Magermans DJ, Chadwick EK, Veeger HE, van der Helm FC, Rozing PM. Biomechanical analysis of tendon transfers for massive rotator cuff tears. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2004;19:350-357.

65. Magermans DJ, Chadwick EK, Veeger HE, Rozing PM, van der Helm FC. Effectiveness of tendon transfers for massive rotator cuff tears: a simulation study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2004;19:116-122.
66. Ling HY, Angeles JG, Horodyski MB. Biomechanics of latissimus dorsi transfer for irreparable posterosuperior rotator cuff tears. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2009;24:261-266.
67. Irlenbusch U, Bernsdorf M, Born S, Gansen HK, Lorenz U. Electromyographic analysis of muscle function after latissimus dorsi tendon transfer. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]*. 2008;17:492-499.
68. Steenbrink F, Nelissen RG, Meskers CG, van de Sande MA, Rozing PM, de Groot JH. Teres major muscle activation relates to clinical outcome in tendon transfer surgery. *Clinical biomechanics*. 2010;25:187-193.
69. Aoki M, Okamura K, Fukushima S, Takahashi T, Ogino T. Transfer of latissimus dorsi for irreparable rotator-cuff tears. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*. 1996;78:761-766.
70. Gerber C, Rahm SA, Catanzaro S, Farshad M, Moor BK. Latissimus dorsi tendon transfer for treatment of irreparable posterosuperior rotator cuff tears: long-term results at a minimum follow-up of ten years. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 2013;95:1920-1926.
71. El-Azab HM, Rott O, Irlenbusch U. Long-term follow-up after latissimus dorsi transfer for irreparable posterosuperior rotator cuff tears. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 2015;97:462-469.
72. Boileau P, Chuinard C, Roussanne Y, Neyton L, Trojani C. Modified latissimus dorsi and teres major transfer through a single delto-pectoral approach for external rotation deficit of the shoulder: as an isolated procedure or with a reverse arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. 2007;16:671-682.
73. Boileau P, Rumian AP, Zumstein MA. Reversed shoulder arthroplasty with modified L'Episcopo for combined loss of active elevation and external rotation. *J Shoulder Elbow Surg*. 2010;19:20-30.
74. Gerber C, Pennington SD, Lingenfelter EJ, Sukthankar A. Reverse Delta-III total shoulder replacement combined with latissimus dorsi transfer. A preliminary report. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89:940-947.
75. Boughebi O, Kilinc A, Valenti P. Reverse shoulder arthroplasty combined with a latissimus dorsi and teres major transfer for a deficit of both active elevation and external rotation. Results of 15 cases with a minimum of 2-year follow-up. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013;99:131-137.
76. Puskas GJ, Catanzaro S, Gerber C. Clinical outcome of reverse total shoulder arthroplasty combined with latissimus dorsi transfer for the treatment of chronic combined pseudoparesis of elevation and external rotation of the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg*. 2014;23:49-57.
77. Shi LL, Cahill KE, Ek ET, Thompson JD, Higgins LD, Warner JJ. Latissimus Dorsi and Teres Major Transfer With Reverse Shoulder Arthroplasty Restores Active Motion and Reduces Pain for Posterosuperior Cuff Dysfunction. *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473:3212-3217.
78. Namdari S, Voleti P, Baldwin K, Glaser D, Huffman GR. Latissimus dorsi tendon transfer for irreparable rotator cuff tears: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94:891-898.
79. Tauber M, Moursy M, Forstner R, Koller H, Resch H. Latissimus dorsi tendon transfer for irreparable rotator cuff tears: a modified technique to improve tendon

- transfer integrity: surgical technique. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92 Suppl 1 Pt 2:226-239.
80. Gervasi E, Causero A, Parodi PC, Raimondo D, Tancredi G. Arthroscopic latissimus dorsi transfer. *Arthroscopy.* 2007;23:1243 e1241-1244.
  81. Castricini R, De Benedetto M, Familiari F, et al. Functional status and failed rotator cuff repair predict outcomes after arthroscopic-assisted latissimus dorsi transfer for irreparable massive rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg.* 2016;25:658-665.
  82. Castricini R, Longo UG, De Benedetto M, et al. Arthroscopic-Assisted Latissimus Dorsi Transfer for the Management of Irreparable Rotator Cuff Tears: Short-Term Results. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96:e119.
  83. Grimberg J, Kany J, Valenti P, Amaravathi R, Ramalingam AT. Arthroscopic-assisted latissimus dorsi tendon transfer for irreparable posterosuperior cuff tears. *Arthroscopy.* 2015;31:599-607 e591.
  84. Kanatli U, Ozer M, Ataoglu MB, et al. Arthroscopic-Assisted Latissimus Dorsi Tendon Transfer for Massive Irreparable Rotator Cuff Tears: Technique and Short-term Follow-up of Patients With Pseudoparalysis. *Arthroscopy.* 2016.
  85. Patte D. Classification of rotator cuff lesions. *Clinical orthopaedics and related research.* 1990:81-86.
  86. Goutallier D, Postel JM, Bernageau J, Lavau L, Voisin MC. Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan. *Clin Orthop Relat Res.* 1994:78-83.
  87. Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res.* 1987:160-164.
  88. Codman EA, Akerson IB. The Pathology Associated with Rupture of the Supraspinatus Tendon. *Ann Surg.* 1931;93:348-359.
  89. Hertel R, Ballmer FT, Lombert SM, Gerber C. Lag signs in the diagnosis of rotator cuff rupture. *J Shoulder Elbow Surg.* 1996;5:307-313.
  90. Walch G, Boulahia A, Calderone S, Robinson AH. The 'dropping' and 'hornblower's' signs in evaluation of rotator-cuff tears. *J Bone Joint Surg Br.* 1998;80:624-628.
  91. Constant CR, Gerber C, Emery RJ, Sojbjerg JO, Gohlke F, Boileau P. A review of the Constant score: modifications and guidelines for its use. *J Shoulder Elbow Surg.* 2008;17:355-361.
  92. Thomas M, Dieball O, Busse M. [Normal values of the shoulder strength in dependency on age and gender--comparison with the constant, UCLA, ASES scores and SF36 health survey]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 2003;141:160-170.
  93. Schroder RJ, Scheibel M, Tsynman A, Magosch P, Habermeyer P. [Magnetic resonance analysis of the subscapularis muscle after open anterior shoulder stabilization]. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin.* 2006;178:706-712.
  94. Scheibel M, Tsynman A, Magosch P, Schroeder RJ, Habermeyer P. Postoperative subscapularis muscle insufficiency after primary and revision open shoulder stabilization. *The American journal of sports medicine.* 2006;34:1586-1593.
  95. Thomazeau H, Duval JM, Darnault P, Dreano T. Anatomical relationships and scapular attachments of the supraspinatus muscle. *Surg Radiol Anat.* 1996;18:221-225.
  96. Hendrick RE RP, Simon JH. *MRI: Principles and Artifacts.* New York: Raven Press; 1993.
  97. Gerber C, Fuchs B, Hodler J. The results of repair of massive tears of the rotator cuff. *The Journal of bone and joint surgery. American volume.* 2000;82:505-515.
  98. Cofield RH. Rotator cuff disease of the shoulder. *The Journal of bone and joint surgery. American volume.* 1985;67:974-979.

99. Patte D, Debeyre J. Comparative trial of 2 series of ruptures of surgically and non-surgically treated rotatory cuffs. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1988;74:327-328.
100. Buchmann S, Magosch P, Lichtenberg S, Habermeyer P. [Latissimus dorsi transfer--comparison of results after primary and revision surgery: a retrospective matched-pair analysis]. *Zeitschrift fur Orthopadie und Unfallchirurgie.* 2009;147:457-462.
101. Miniaci A, MacLeod M. Transfer of the latissimus dorsi muscle after failed repair of a massive tear of the rotator cuff. A two to five-year review. *The Journal of bone and joint surgery. American volume.* 1999;81:1120-1127.
102. Keating JF, Waterworth P, Shaw-Dunn J, Crossan J. The relative strengths of the rotator cuff muscles. A cadaver study. *The Journal of bone and joint surgery. British volume.* 1993;75:137-140.
103. Nove-Josserand L, Costa P, Liotard JP, Safar JF, Walch G, Zilber S. Results of latissimus dorsi tendon transfer for irreparable cuff tears. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR.* 2009;95:108-113.
104. Bartl C, Kouloumentas P, Holzapfel K, et al. Long-term outcome and structural integrity following open repair of massive rotator cuff tears. *International journal of shoulder surgery.* 2012;6:1-8.
105. Gladstone JN, Bishop JY, Lo IK, Flatow EL. Fatty infiltration and atrophy of the rotator cuff do not improve after rotator cuff repair and correlate with poor functional outcome. *The American journal of sports medicine.* 2007;35:719-728.
106. Gokalp G, Yildirim N, Yazici Z, Ercan I. Using chemical-shift MR imaging to quantify fatty degeneration within supraspinatus muscle due to supraspinatus tendon injuries. *Skeletal radiology.* 2010;39:1211-1217.
107. Kostler H, Kenn W, Hummer C, Bohm D, Hahn D. [2D-SPLASH spectroscopy to determine the fat/water ratio in the muscle of the rotator cuff]. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin.* 2002;174:991-995.
108. Mellado JM, Calmet J, Olona M, et al. Surgically repaired massive rotator cuff tears: MRI of tendon integrity, muscle fatty degeneration, and muscle atrophy correlated with intraoperative and clinical findings. *AJR. American journal of roentgenology.* 2005;184:1456-1463.
109. Moosmayer S, Tariq R, Stiris MG, Smith HJ. MRI of symptomatic and asymptomatic full-thickness rotator cuff tears. A comparison of findings in 100 subjects. *Acta orthopaedica.* 2010;81:361-366.
110. Pfirrmann CW, Schmid MR, Zanetti M, Jost B, Gerber C, Hodler J. Assessment of fat content in supraspinatus muscle with proton MR spectroscopy in asymptomatic volunteers and patients with supraspinatus tendon lesions. *Radiology.* 2004;232:709-715.
111. Tae SK, Oh JH, Kim SH, Chung SW, Yang JY, Back YW. Evaluation of fatty degeneration of the supraspinatus muscle using a new measuring tool and its correlation between multidetector computed tomography and magnetic resonance imaging. *The American journal of sports medicine.* 2011;39:599-606.
112. Fuchs B, Weishaupt D, Zanetti M, Hodler J, Gerber C. Fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff: assessment by computed tomography versus magnetic resonance imaging. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.].* 1999;8:599-605.
113. Schiefer M, Mendonca R, Magnanini MM, et al. Intraobserver and interobserver agreement of Goutallier classification applied to magnetic resonance images. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.].* 2015;24:1314-1321.

- 114. Goodpaster BH, Stenger VA, Boada F, et al. Skeletal muscle lipid concentration quantified by magnetic resonance imaging. *The American journal of clinical nutrition*. 2004;79:748-754.
- 115. Kenn W, Bohm D, Gohlke F, Hummer C, Kostler H, Hahn D. 2D SPLASH: a new method to determine the fatty infiltration of the rotator cuff muscles. *European radiology*. 2004;14:2331-2336.
- 116. Boesch C, Kreis R. Observation of intramyocellular lipids by <sup>1</sup>H-magnetic resonance spectroscopy. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2000;904:25-31.
- 117. Klonowski C, Haneveld H, Makowski M, Scheibel M, Gerhardt C. Vergleich der fettigen Infiltration der Rotatorenmanschetten Klassifikation nach Goutallier vs. Signalintensitätsanalyse - vorläufige Ergebnisse. *23. Jahreskongress der Deutschen Vereinigung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie(DVSE)*. Bremen2016.



LUDWIG-  
MAXIMILIANS-  
UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN

Promotionsbüro  
Medizinische Fakultät



## Eidesstattliche Versicherung

# Scheiderer, Bastian

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

**MRT-Morphologie des M. latissimus dorsi und M. teres minor nach Latissimus dorsi Transfer in "single-incision-technique"**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

**München, 10. September 2018**

Ort, Datum

**Bastian Scheiderer**

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand